

Utnyttjande av byggnaders värmetröghet

Utvärdering av kommersiella systemlösningar

*Jens Persson
Daniel Vogel*

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2011
Rapport TVIT--11/5030



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmade hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

Utnyttjande av byggnaders värmetröghet

Utvärdering av kommersiella systemlösningar

*Jens Persson
Daniel Vogel*

© *Jens Persson och Daniel Vogel*
ISRN LUTVDG/TVIT--11/5030--SE(68)

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Sammanfattning

Utnyttjande av byggnaders värmetröghet –
Utvärdering av kommersiella systemlösningar

Detta examensarbete undersöker skillnaden mellan traditionell installationsteknik och en handfull kommersiella system som syftar till att utnyttja byggnadens värmetröghet. Utöver skillnaderna undersöks även hur systemen fungerar och vilken teori de grundar sig på. Slutligen redovisas objektstudier på projekt som har genomförts med de olika företagens lösningar. De undersökta systemen kommer från följande företag.

- eGain
- EnReduce Energy Systems
- Kabona
- NordIQ
- TermoDeck

I denna rapport definieras traditionell installationsteknik som installationssystem vilka arbetar oberoende av varandra i byggnaden och av uppvärmningssystem som endast styrs av en utetemperaturgivare.

Gemensamt för alla system bortsett från TermoDeck är att de försöker utnyttja byggnaders värmetröghet genom användandet av byggnadens tidskonstant för att jämna ut effektuttaget och minska energianvändningen för uppvärmning. Motsvarande gäller även för energianvändningen för kyla. Tidskonstanten kan förenklat beskrivas som den tid det tar en byggnad att reagera på en temperaturförändring utomhus. Matematiskt är tidskonstanten den tid det tar innan 63 % av förändringen mellan ursprungsläge och ett nytt jämviktsläge uppstår inomhus.

eGain styr sitt system med väderprognoser som tillsammans med byggnadens tidskonstant ska förbereda byggnaden för förändrade effektbehov. Systemet utvärderar

kontinuerligt prognosen och vid för stora avvikelser återgår det till att styra efter utetemperatur.

EnReduce använder innetemperaturgivare tillsammans med ett styrprogram som ska beräkna byggnadens värmelager. Uppvärmningssystemet ska endast tillföra värme då temperaturen inomhus är för låg och byggnadens värmelagringsförmåga inte räcker till.

Kabona använder sig av väderprognoser tillsammans med byggnadens tidskonstant för att förbereda byggnaden för framtida behov. Tillsammans med prognosstyrningen används även innetemperaturgivare för att styra med en kombination av inne- och utetemperatur. Utöver uppvärmningssystem styr Kabona även eventuella ventilationssystem och komfortkylsystem med en gemensam styrning för att undvika att systemen motverkar varandra.

NordIQ har utvecklat en egen fjärrvärmecentral som ska styra fram rätt värmemängd med hjälp av byggnadens effektsignatur och tidskonstant. Utöver uppvärmning styrs även tappvattenuppvärmning och under drifttoppar prioriteras tappvattenuppvärmning medan uppvärmningen tillfälligt stängs av.

TermoDeck använder sig inte av tidskonstanten för att utnyttja värmetrögheten. De bygger istället väldigt tunga och täta hus med en fasadzona och en inre zon vilken ska påverkas ytterst lite av uteklimatet. Uppvärmning sker genom att leda ventilationsluften genom håldäcksbjälklag för att låta luft och stomme värmeväxla. Eftersom luften tillåts ha högre hastighet i kanalerna än inom vistelsezonen blir värmeutbytet större än mellan rum och vägg.

Alla system har gemensamt att de sänker byggnadens balanstemperatur genom att de förskjuter starten och stoppet av värmeförseln. Med prognosstyrning försöker man förutse värmelagrets påfyllningsbehov medan innegivarsystemen reagerar på lagrets urladdning. De tre system som använder sig av innetemperaturgivare kan beakta enskilda tillfällen då de interna värmelasterna är extrema. De två övriga systemen, eGain och NordIQ använder sig endast av normallaster. Det kan dock diskuteras hur mycket värmelagret i ett tungt hus påverkas av tillfälliga interna laster. Detta visar sig tydligt i

att de undersökta systemen skiftar avsevärt i noggrannhet. EnReduce använder sig av givare med en känslighet på hundradels grader, medan TermoDeck mäter verksamhetszonens frånluftsmedeltemperatur, Kabona mäter i sin tur verksamhetszonens frånluftstemperatur på flera platser. NordIQ återkopplar i sin tur med hjälp av effektuttaget över värmekretsen. Frågan blir vilken noggrannhet är det egentligen som behövs för att få ett komfortabelt inneklimat?

Styrsignalen i traditionella system försöker korrigera avvikelsen från den önskade temperaturen. Detta medför att temperaturen inte behöver bli den önskade på grund av att randvillkoren inte är konstanta. Alla system påstås ge ett inneklimat med mindre temperatursvängningar genom utnyttjandet av byggnadens värmetröghet vilket leder till att temperaturen skulle kunna sänkas eftersom att en mindre säkerhetsmarginal behövs mot det lägsta tillåtna börvärdet.

Driftstatistik från flerbostadshus som har bytt från traditionell styrning till de undersökta företagens system har analyserats för att utvärdera skillnaderna i energianvändning för uppvärmning innan och efter installation. Företagens marknadsföring förefaller optimistisk i jämförelse med objektstudierna på deras referensprojekt. Trots att företagen inte lever upp till sin egen marknadsföring visar flera en tydlig nedgång i energianvändningen för uppvärmning och de är definitivt intressanta att använda vare sig det gäller nyproduktion eller ombyggnad. Alla system gynnas av både byggnadens värmetröghet och värmelagringsförmåga och de kan vara mycket intressanta som åtgärder för renoveringsarbetet av miljonprogramsbeståndet. Dessa byggnader har ofta dålig värmetröghet men hög värmelagringsförmåga, dock är första renoveringsåtgärden ofta en tätning klimatskalet vilket ger förhöjd värmetröghet.

Nyckelord: Installationsteknik, värmelagring, värmetröghet, uppvärmning, ventilation, prognosstyrning, styr- och reglerteknik.

Abstract

Utilization of thermal inertia of buildings –
Evaluation of commercial systems

This master's thesis examines the difference between traditional HVAC-systems and a handful of commercial systems designed to utilize the building's thermal inertia. In addition to the differences it is also examined how the systems operate and on what scientific theories they are based on. Finally, operational statistics of the energy usage from different projects that have been conducted with the various companies' solutions are presented and analyzed. The investigated systems have been developed by the following corporations.

- eGain
- EnReduce Energy Systems
- Kabona
- NordIQ
- TermoDeck

This report defines traditional HVAC-systems as systems which operate independently of each other in the building and with the heating system controlled by an outside temperature sensor.

All systems except TermoDeck have in common that they attempt to utilize the building's thermal inertia through the use of the building's time constant to level the power output and reduce the energy usage for heating. This also applies to the energy usage for cooling. Simply the time constant can be described as the time it takes a building to respond to a temperature change outside. Mathematically explained the time constant is the time it takes before 63 % of the alteration between the initial and the new equilibrium occurs indoors.

eGain controls its system with weather forecasts that together with the time constant try to prepare the building for future heat requirements. The system continually evaluates the forecast quality and changes back to controlling by the outside temperature if the quality is poor.

EnReduce uses indoor sensors together with a control programme to calculate the building's heat storage. The heating system is only supposed to supply heat when the indoor temperature is too low and the building's heat storage isn't enough to satisfy the demand.

Kabona uses weather forecasts together with the building's time constant to prepare the building for future demands. Indoor sensors are used together with the forecasting system to control using a combination of outdoor and indoor temperature. In addition to the heating system Kabona also control any ventilation or cooling systems to eliminate the risk of counteraction between the systems.

NordIQ has developed a district heat exchanger that is supposed to deliver the correct heat amount controlled by the building's power signature and the time constant. In addition to heating, the exchanger also control the tap water heating. During power peaks the system prioritises the tap water heating and temporarily shuts down the indoor heating.

TermoDeck doesn't use the time constant to utilize the building's heat storage. Instead they produce heavy and air tight buildings with a facade zone and an inner zone that rarely is affected by the outside climate. The heating is supplied by channeling air through hollowed concrete slabs to get a heat exchange between the slab and ventilation air. The air is allowed a higher velocity than in the residence zone which leads to a greater heat exchange than between the air and interior wall.

All systems have in common that they lower the building's balance temperature through relocating the start and stop of heat supply. The heat storage's need of replenishment is predicted with target forecasting, while the indoor sensors react to the heat storage's discharge. The three systems that use indoor sensors can react to singular occasions

with extreme indoor heat loads. The other two systems, eGain and NordIQ only react to normal loads. How much the heat storage in a heavy building is affected by temporary heat loads can be discussed. The systems' differ in precision. EnReduce use indoor sensors with a sensitivity of a centesimal degree, TermoDeck only measure the mean temperature of the exhaust air while Kabona measure the temperature of the exhaust air in several locations. NordIQ gets feedback by calculating the power withdrawal. The question is what level of accuracy is needed to meet a comfortable indoor climate?

The control signal in traditional systems attempts to correct the deviation from the desired temperature. This means that the actual temperature does not always become the desired one because of variable boundary conditions. All systems are said to give an indoor climate with smaller temperature variations through the utilization of the building's thermal inertia. With this power the indoor temperature can be lowered since the security margin to the minimum temperature allowed can be diminished.

Energy data has been analyzed from multi-family dwellings that have changed their traditional HVAC-systems to systems by the investigated corporations to evaluate the differences between the energy usage before and after the installation. The corporations' marketing is optimistic in comparison to the analyzed projects. In spite of this they show a significant reduction in the energy usage for heating and they are useful components in both new construction and reconstruction projects. All systems benefit from the building's thermal inertia and heat storage capacity and they are highly interesting to utilize in the reconstruction of the million housing programme. The thermal inertia of these buildings is often poor but the heat storage capacity is good. However the first action of a reconstruction of these buildings is usually to improve the climate envelope which increases the thermal inertia.

Keywords: HVAC, heat storage, thermal inertia, heating, ventilation, forecast targeting, sensor technology.

Förord

Detta examensarbete har skrivits på avdelningen för installationsteknik vid Lunds tekniska högskola. Examensarbetet är det sista momentet som genomförs inför examen på civilingenjörsprogrammet i Väg och vattenbyggnad.

Projektet har pågått under hela sommaren och fortsatt in på hösten. Idén till projektet kommer från Anders Rönneblad på Cementa. Från avdelningen för installationsteknik har Dennis Johansson varit handledare och Mats Dahlblom examinator. Vi vill rikta ett stort tack till dessa tre för att de tagit tid från sin semester för att stödja oss under arbetets gång.

Vi vill även rikta ett stort tack till Marek Vogel på MMV Studio som under hela arbetet har bistått oss med kontorsfaciliteter.

Slutligen vill vi tacka de företag som har ställt upp på intervjuer och delat med sig av driftdata.

Helsingborg, oktober 2011

Jens Persson, Daniel Vogel
Lunds Tekniska Högskola

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	1
ABSTRACT	5
FÖRORD	9
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	11
1 INLEDNING	13
1.1 BAKGRUND.....	13
1.2 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNING.....	14
1.3 METOD.....	15
1.4 AVGRÄNSNING.....	15
1.5 DISPOSITION.....	15
1.6 STORHETER	16
2 TEORI	17
2.1 LAGRING AV TERMISK ENERGI.....	17
2.1.1 Sensibel värmelagring.....	17
2.1.2 Latent värmelagring.....	17
2.1.3 Kemisk värmelagring.....	18
2.2 BYGGNADENS VÄRMETRÖGHET	18
2.2.1 Inträngningsdjup.....	19
2.2.2 Tidskonstanten	19
2.2.3 Värmelagring i konstruktionen.....	22
2.2.4 Prognosstyrning.....	23
2.3 TRADITIONELL INSTALLATIONSTEKNIK.....	23
2.3.1 Uppvärmningssystem	23
2.3.2 Ventilationssystem	25
2.3.3 Komfortkyla	25
2.3.4 Styr- och reglerstrategi.....	26
2.4 INJUSTERING.....	29
2.5 NORMALÅRSKORRIGERING	30
2.5.1 Graddagsmetoden	30
2.5.2 Energi-index.....	30
2.5.3 Effektsignatur	31
3 SYSTEM FÖR UTNYTTJANDE AV BYGGNADERS VÄRMETRÖGHET	33

3.1 EGAIN.....	33
3.1.1 Systemet.....	33
3.2 ENREDUCE ENERGY SYSTEMS.....	34
3.2.1 Systemet.....	34
3.3 KABONA.....	36
3.3.1 Systemet.....	36
3.4 NORDIQ.....	37
3.4.1 Systemet.....	37
3.5 TERMODECK.....	39
3.5.1 Systemet.....	39
3.6 SAMMANSTÄLLNING.....	41
4 OBJEKTSTUDIER.....	43
4.1 BYTE FRÅN TRADITIONELL STYRNING TILL EGAIN.....	43
4.1.1 Resultat.....	44
4.2 BYTE FRÅN EGAIN TILL ENREDUCE ENERGY SYSTEMS.....	47
4.2.1 Resultat.....	47
4.3 BYTE FRÅN TRADITIONELL STYRNING TILL ENREDUCE ENERGY SYSTEMS	49
4.3.1 Resultat.....	49
4.4 BYTE FRÅN TRADITIONELL STYRNING TILL KABONA.....	51
4.4.1 Resultat.....	52
4.5 BYTE FRÅN TRADITIONELL STYRNING TILL NORDIQ.....	53
4.5.1 Resultat.....	54
4.6 TERMODECK.....	55
4.6.1 Resultat.....	55
5 ANALYS.....	57
5.1 EGAIN.....	57
5.2 BYTE FRÅN EGAIN TILL ENREDUCE ENERGY SYSTEMS.....	58
5.3 ENREDUCE ENERGY SYSTEMS.....	58
5.4 KABONA.....	58
5.5 NORDIQ.....	59
5.6 TERMODECK.....	59
5.7 SAMMANSTÄLLNING.....	60
6 DISKUSSION OCH SLUTSATSER.....	61
6.1 REKOMMENDATIONER FÖR FORTSATTA STUDIER.....	64
KÄLLFÖRTECKNING	65

1 Inledning

I följande kapitel behandlas rapportens upplägg genom en presentation av projektets bakgrund, syfte, frågeställning, metod och avgränsning.

1.1 Bakgrund

Sektorn *bostäder och service* utgörs av bostäder, fritidshus, lokaler bortsett från industrilokaler, jordbruk, skogsbruk, trädgårdsnäring, fiske, gatu- och vägbelysning samt avlopps-, renings-, el- och vattenverk och slutligen byggsektorn. Under 2009 upptog denna sektor 39 % av Sveriges energibalans (Statens energimyndighet, 2010). Inom sektorn användes 79,0 TWh för uppvärmning och varmvatten av bostäder och lokaler (Statens energimyndighet, 2011).

Ett av Sveriges 16 miljö kvalitetsmål är att städer, tätorter och annan bebyggd miljö ska utgöra en god och hälsosam livsmiljö, samt medverka till en god regional och global miljö (Miljömålsportalen, 2011a). Ett av etappmålen för detta miljö kvalitetsmål är att den totala energianvändningen per uppvärmd areaenhet i bostäder och lokaler ska minska med 20 % till år 2020 och 50 % till 2050 i förhållande till energianvändningen 1995 (Miljömålsportalen, 2011b).

Under 2011 genomfördes en studie om energieffektivisering av flerbostadshus med hänsyn till värmetröghet. I studien svarade flera projektörer på om de trodde att byggnadens värmetröghet hade inverkan på dess energianvändning och om de hade tagit hänsyn till detta i energieffektiviseringsarbetet. Svaret var att de trodde att det hade stor inverkan på energianvändningen men att de inte hade beaktat det i arbetsprocessen (Wisell et al., 2011).

En värmetrög byggnad reagerar fördröjt och med dämpning på temperaturförändringar utomhus (Isfält & Bröms, 1992). Detta medför att uppvärmningssystemet inte behöver dimensioneras i samma storlek som för en byggnad som snabbt reagerar på väderleksförändringar eftersom värmeenergi kan lånas av byggnadsstommen fram tills den låga utetemperaturen har passerat. En värmetrög byggnad med möjlighet att låna termisk energi från stommen medför att uppvärmningssystemets drifttoppar dämpas och förskjuts så att systemet istället kan arbeta med lägre effekt (Karlsson, 2010). Detta

system kräver dock att innetemperaturen tillåts variera. Ju större temperaturvariation som tillåts desto högre blir utnyttjandet av värmelagringen (Harrysson, 2004).

Fjärrvärmenätet i Göteborg består av cirka 110 mil rör med 70 000 m³ vatten som förser 11 000 villor och 8 000 flerbostadshus med värme. Göteborg Energi har kalkylerat att drifttopparna morgon och kväll när tappvarmvattenbehovet är som störst kan jämnas ut om 25 % av fastighetsbeståndet används som energilager. Genom att öka energitillförseln till byggnaderna inför drifttopparna och sedan stänga av uppvärmningen under drifttopparna samtidigt som tappvattenuppvärmningen lämnas orörd minskas maxeffektbehovet (Lidström, 2009). Innetemperaturen i byggnaderna tillåts variera maximalt $\pm 1\text{C}^\circ$ och det är endast byggnader med tidskonstant över 100 timmar som är aktuella (Olsson Ingvarsson & Werner, 2008). Projektet har inte fortskridit länge nog för att kunna utvärderas.

Exemplet i Göteborg visar att det finns en stor energi- och effektbesparingspotential med jämnare drift genom utnyttjandet av värmelagring och värmetröghet i byggnader. Samtidigt visar studien som genomfördes av Wisell et al. (2011) att värmetrögheten inte medvetet utnyttjas av projektörer. Under de senare åren har marknadsutbudet för kommersiella installationssystem som utgår från husets värmedynamiska egenskaper ökat. Systemen använder sig bland annat av styr- och reglerteknik som bygger på rumstemperaturstyrning, prognosstyrning eller ett aktivt utnyttjande av byggnadens stomme som värmeväxlare. Utöver företagens egna publikationer skrivs det inte mycket om dessa kommersiella system eller utnyttjande av värmetröghet i allmänhet. Hur fungerar dessa system och vilken energibesparingspotential finns?

1.2 Syfte och frågeställning

Arbetet syftar till att analysera hur värmedynamiska egenskaper tas till vara i utvalda kommersiella system i jämförelse med traditionell installationsteknik. Traditionell installationsteknik definieras som installationssystem vilka arbetar oberoende av varandra i byggnaden och av uppvärmningssystem som endast styrs av en utetemperaturgivare. Speciellt är avsikten att svara på följande frågor.

- Vilka teorier och metoder stödjer sig de kommersiella systemen på?
- Hur skiljer de sig från traditionell styr- och reglerteknik?
- Vilken energibesparing kan uppnås med hjälp av dessa system?

1.3 Metod

Projektet påbörjades med en litteraturstudie av traditionell styr- och reglerteknik samt värmetröghetsteori. Därefter genomfördes intervjuer med utvecklare av de kommersiella systemen. Slutligen kontaktades fastighetsägare som använder sig av företagens produkter och objektstudier genomfördes för att analysera skillnaden i energianvändning för uppvärmning före och efter installation. Objektstudier valdes framför simuleringsprogram eftersom studier visar vad som faktiskt har hänt. Dagens simuleringsprogram har svårt att simulera olika dynamiska styrstrategier och en åtgärd i programmet sker direkt oavsett systemets tröghet. Simuleringar kräver ingående kunskap om företagens styralgoritmer, dessvärre är företagen inte intresserade av att dela med sig av dessa, vilket gör det svårt att beskriva deras system i ett datorprogram.

1.4 Avgränsning

Endast en handfull utvalda kommersiella system på den svenska marknaden undersöks genom intervjuer med utvecklare och objektstudier på genomförda projekt. Nedan listas de företag som undersöks, urval har skett utifrån en sammanställning av företag från Cementa.

- eGain
- EnReduce Energy Systems
- Kabona
- NordIQ
- TermoDeck

Teoridelen behandlar flerbostadshus och kontorsbyggnader. Objektstudierna kommer enbart att fokusera på flerbostadshus som endast utnyttjar systemen för uppvärmning.

1.5 Disposition

Rapporten är uppdelad i fyra delar, först behandlas relevant teori inom installationsteknik och värmetröghet igenom. Därefter beskrivs de kommersiella system

som undersöks. I rapportens tredje del redovisas de objektstudier som genomförts och därefter avslutas rapporten med slutsatser och diskussion.

1.6 Storheter

I tabell 1 beskrivs de storheter som används i rapporten.

Tabell 1 Benämningar, storheter och enheter.

Benämning	Storhet	Enhet
Area	A	m^2
Boarea	BOA	m^2
Densitet	ρ	kg/m^3
Effekt	P	W
Ekvivalent graddag	GD_{ekv}	$^{\circ}C \cdot dgr$
Energi	E	J, Wh
Flöde	q	m^3/s
Graddag	GD	$^{\circ}C \cdot dgr$
Längd	l	m
Massa	m	kg
Specifik värmeeffektförlust	Q	W/K
Specifik värmekapacitet	c	J/(kg·K)
Temperatur	T	K, $^{\circ}C$
Tid	t	s
Tidskonstant	τ	s
Uppvärmad boarea, $>10^{\circ}C$	A_{temp}	m^2
Verkningsgrad	η	-
Värmeeffektförlust köldbrygga	Ψ	W/(m·K)
Värmeeffektförlust, punktformig köldbrygga	X	W/K
Värmegenomgångskoefficient	U	W/(m^2K)
Värmeledningsförmåga	λ	W/(m·K)
Värmetröghet	b	$Ws^{0.5}/(m^2K)$

2 Teori

Här behandlas relevant teori inom värmelagring, värmetröghet samt installationsteknik.

2.1 Lagring av termisk energi

Ett material växlar normalt mellan tre olika faser, fast, vätske- och gasform. Det finns ytterligare en fas, plasma som inte är lika vanligt förekommande (Göransson, 2003).

Lagring av termisk energi kan ske på tre olika sätt, som beskrivs nedan.

2.1.1 Sensibel värmelagring

Att värma en solid, vätska eller gas utan att låta elementet fasförändras kallas för sensibel värmelagring. Ekvation 1a beskriver hur mängden lagrad energi är en funktion av lagringsmaterialets massa, specifik värmekapacitet vid konstant tryck c_p och materialets temperaturförändring (Gogus, 2006). Om temperaturförändringen sker i ett temperaturområde som gör att både massa och tryck antas vara konstant gäller ekvation 1b (Göransson, 2003).

$$E = \int_{T_0}^T m \cdot c_p \cdot dT \quad [E] = J \quad \text{ekv.1a}$$

$$E = m \cdot c_p \cdot (T - T_0) \quad [E] = J \quad \text{ekv.1b}$$

Det är främst sensibel värmelagring som är aktuellt för de installationssystem som behandlas i denna rapport.

2.1.2 Latent värmelagring

Att värma ett material till den grad att en fasförändring uppstår kallas för latent värmelagring. Ekvation 2 beskriver hur mängden lagrad energi är en funktion av lagringsmaterialets massa, specifik värmekapacitet i den första fasen c_{fas1} , specifik värmekapacitet i den andra fasen c_{fas2} och materialets temperaturförändring. Eftersom materialet genomgår en fasförändring måste dessutom den specifika fasövergångsentalpin $c_{fasövergång}$ tas i beaktning (Gogus, 2006). I ekvation 2 beskrivs temperaturen vid fasövergången med T^* .

$$E = \int_{T_0}^{T^*} m \cdot c_{fas1} \cdot dT + m \cdot c_{fas\overgang} + \int_{T^*}^T m \cdot c_{fas2} \cdot dT \quad [E] = J \quad ekv.2$$

Latent värmelagring kommer inte behandlas närmare i denna rapport.

2.1.3 Kemisk värmelagring

Att frambringa en kemisk reaktion mellan två material genom uppvärmning för att sedan frigöra värmen när den kemiska reaktionen sker omvänt kallas för att lagra värme kemiskt (Gogus, 2006). Exempel på detta är ett material som absorberar eller adsorberar ett annat material. Kemisk värmelagring kommer inte behandlas närmare i denna rapport.

2.2 Byggnadens värmetröghet

Värmetrögheten i ett material beror först och främst på tre olika egenskaper. Den värmeledande förmågan, densiteten och den värmeackumulerande förmågan som beror på materialets specifika värmekapacitet. Egenskapen beräknas enligt ekvation 3 och kan även kallas värmeupptagningsförmåga eller värmeinträngningskoefficient (Claesson et al., 1984). Egenskapen för några vanliga byggmaterial redovisas i tabell 2.

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad [b] = \frac{W \sqrt{s}}{m^2 K} \quad ekv.3$$

Tabell 2 Värmetröghet (Energilotsen, 2011).

Material	Värmetröghet/ (Ws ^{0.5} /(m ² K))
Mineralull	40
Betong	1 800
Tegel	900
Gips	400
Trä	310

Inom husbyggnadstekniken kan värmetrögheten förenklat beskrivas som att en byggnad har lätt eller tung stomme. En byggnad med lätt stomme reagerar snabbare på väderleksförändringar än en byggnad med tung stomme. Eftersom extrema

temperaturvariationer har kort varaktighet dimensioneras värmesystemet i en lätt byggnad normalt för en lägre utetemperatur än värmesystem i tunga byggnader (Warfvinge, 2001).

2.2.1 Inträngningsdjup

Då temperaturen varierar över dygnet hinner endast de yttersta 50-200 mm av en homogen konstruktion påverkas. Större tjocklek än detta påverkar inte konstruktionens värmelagringsförmåga. Inträngningsdjupet för några olika byggmaterial redovisas i tabell 3 (Energilotsen, 2011).

Tabell 3 Inträngningsdjup (Energilotsen, 2011).

Material	Inträngningsdjup/ mm
Mineralull	160
Betong	150
Tegel	110
Gips	95
Trä	70

Den termiska lagringsförmågan minskar påtagligt om värmeutbytet mellan rummets ytskikt och luft förhindras av exempelvis isolerande väggbeklädnader, undertak eller heltäckande mattor (Abel & Elmroth, 2006). Det är med andra ord möjligt för byggnadens brukare att försämra byggnadens värmelagrande egenskaper.

2.2.2 Tidskonstanten

I äldre byggnader med låg isolergrad är effektbehoven stora och därmed räcker inte den upptagna värmen lika länge som i moderna byggnader med samma termiska massa. I äldre byggnader dimensionerades värmesystemet efter DUT1 och DUT5. DUT1 är dimensionerande utetemperatur för ett dygn, medeltemperaturen under hela det kallaste dygnet och gäller för byggnader med lätt stomme. Värmesystemet i tunga byggnader dimensioneras efter den dimensionerande utetemperaturen över fem dygn. Med modern byggnadsteknik är konstruktionen bättre värmeisolerad och lufttätare än i äldre byggnader. Detta medför att inneklimatet i lätta byggnader numera inte påverkas lika snabbt av uteklimatet (Forsslund, 2010).

Idag är DUT ersatt av den dimensionerande vinterutetemperaturen, DVUT bestäms med hjälp av geografiskt läge och byggnadens tidskonstant. Den dimensionerade innetemperaturen ska inte underskridas mer än 30 gånger på 30 år då värmesystemet har dimensioneras med DVUT (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

För att beskriva hur snabbt en byggnad reagerar på väderleksförändringar används tidskonstanten τ som är kvoten av byggnadens värmekapacitet dividerat med specifik effektförlust enligt ekvation 4a. Den specifika effektförlusten som visas i ekvation 4b består av transmissionsförluster genom klimatskal enligt ekvation 4c och frivilliga samt ofrivilliga ventilationsförluster. Ventilationsförlusterna beror på luftens flöde, densitet och specifik värmekapacitet enligt ekvation 4d-e, samt verkningsgrad på eventuell värmeåtervinning som ingår i ekvation 4b. Byggnadens värmekapacitet beror på specifik värmekapacitet och konstruktionens massa innanför isolerskiktet. Maximalt 100 mm av konstruktionen innanför isolerskiktet får tillgodoräknas i beräkningarna (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

$$\tau = \frac{\sum m_j \cdot c_j}{Q_{tot}} \quad [\tau] = s \quad \text{ekv.4a}$$

$$Q_{tot} = Q_t + Q_v \cdot (1 - \eta) + Q_{ov} \quad [Q_{tot}] = W / K \quad \text{ekv.4b}$$

$$Q_t = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{k=1}^m \Psi_k \cdot l_k + \sum_{j=1}^p X_j \quad [Q_t] = W / K \quad \text{ekv.4c}$$

$$Q_v = \rho \cdot c_p \cdot q_v \quad [Q_v] = W / K \quad \text{ekv.4d}$$

$$Q_{ov} = \rho \cdot c_p \cdot q_{ov} \quad [Q_{ov}] = W / K \quad \text{ekv.4e}$$

En tung stomme leder till att täljaren i ekvation 4a får ett större värde än för en lätt stomme och tidskonstanten blir därmed högre för tunga stommar. Tidskonstanten blir även högre då stommen består av material med hög specifik värmekapacitet. En lufttät eller ordentligt värmeisolerad byggnad alternativt en med god värmeåtervinning leder i sin tur till att nämnaren blir lägre vilket också leder till en högre tidskonstant och därmed högre DVUT eftersom denna väljs i förhållande till tidskonstanten. Täljaren i

ekvation 4a beskriver byggnadens värmelagringsförmåga, medan tidskonstanten beskriver byggnadens värmetröghet. Tabell 4 visar schablonvärden på tidskonstanten för några olika byggnadstyper.

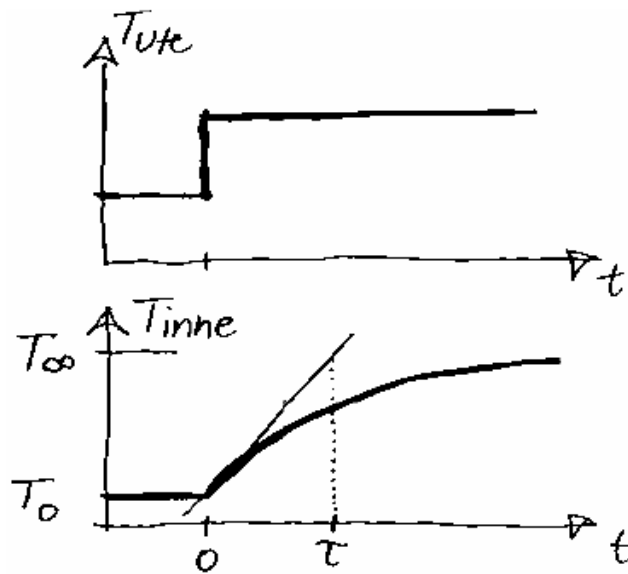
Tabell 4 Schablonvärden för tidskonstanten

Konstruktion	Tidskontant/h
Äldre lätt byggnad (Isfält & Bröms, 1992)	24
Äldre tung byggnad (Isfält & Bröms, 1992)	80
Modern lätt byggnad med kryppgrund (FEBY, 2009)	80
Modern halvlätt byggnad med platta på mark (FEBY, 2009)	150
Halvtung byggnad med bjälklag av betong, lätta utfackningsväggar (FEBY, 2009)	300

Tidskonstanten kan användas för att bestämma temperaturändringen inomhus som en funktion av tiden och temperaturförändringen utomhus enligt ekvation 5 (Warfvinge, 2001).

$$\Delta T_i = \Delta T_u \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad [\Delta T_i] = K \quad \text{ekv.5}$$

Med hjälp av ekvation 4a och 5 kan tidskonstanten beskrivas som den tidpunkt då begynnelsetidpunktens temperaturtangens skär sluttemperaturen med en stegändring i utetemperaturen enligt figur 1. Tidskonstanten kan beräknas som den tid som förlöpt innan 63 % av sluttemperaturen är uppnådd (Warfvinge, 2001).



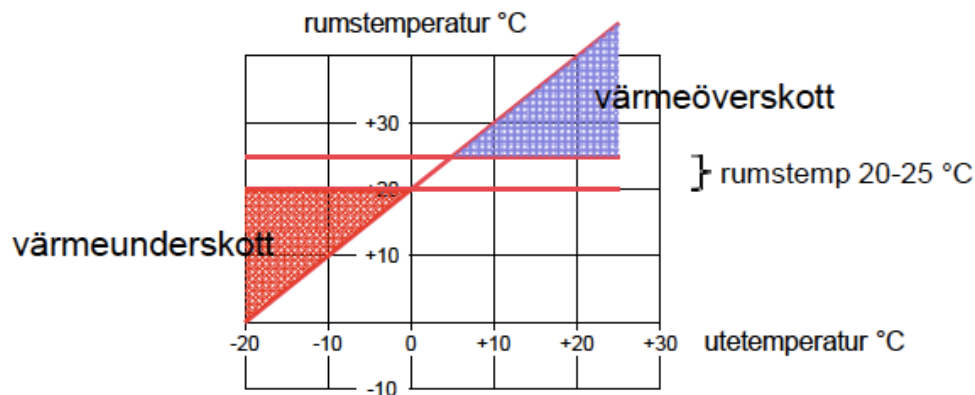
Figur 1 Tidskonstanten (Warfvinge, 2001).

Nära begynnelsestidpunkten förändras innetemperaturen snabbt, därefter avtar förändringshastigheten. Desto mer lufttemperaturen avviker från det ursprungliga jämviktsläget, desto mer kommer förändringshastigheten motverkas av konstruktionen som ändrar temperatur långsammare än luften. På grund av detta är tidskonstanten i motsats till sitt namn inte konstant. Ekvation 4a ger endast ett värde på tidskonstanten, medan värdet varierar om den beräknas med hjälp av ekvation 5 som är beroende av vilken tidsperiod som betraktas. En kort tidsperiod ger en låg tidskonstant i jämförelse med en längre tidsperiod som ger en högre tidskonstant. En längre tidsperiod kan dessutom ge en tidskonstant som överstiger värdet enligt ekvation 4a (Isfält & Bröms, 1992). Om tidskonstanten beräknas med stor noggrannhet med hjälp av ekvation 4a blir inte heller detta värde konstant då de variabler som används som indata inte är oföränderliga.

2.2.3 Värmelagring i konstruktionen

Byggnadens energibalans består av energiförluster genom transmission och frivillig samt ofrivillig ventilation. Energittillskottet kommer från interna värmekällor, solinstrålning och slutligen uppvärmningssystemet. Värmeunderskottet och värmeöverskottet som visas i figur 2 minskar i takt med att konstruktionens värmelagringsförmåga och termiska tröghet ökar (Abel & Elmroth, 2006). Dessa

egenskaper tillsammans med vilket temperaturintervall som tillåts inomhus får betydelse vid dimensionering av värme- och komfortkylsystem.



Figur 2 Värmeunderskott och värmeöverskott (Abel & Elmroth, 2006).

En tung byggnad som inte har någon nattlig verksamhet kan exempelvis kylas med uteluft under natten för att konstruktionen sedan ska motverka uppvärmningen under dagen. På detta sätt reduceras effektbehovet på ett komfortkylsystem (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.2.4 Prognosstyrning

Prognosstyrning innebär att fler faktorer beaktas än enbart utetemperatur för att styra byggnadens energitillförsel. Med kunskap om byggnadens värmetekniska egenskaper och detaljerade väderprognoser beräknas en ekvivalent temperatur som styr systemet. Exempelvis kan en styrsignal på 5°C gälla för både en solig och vindstilla driftsituation, eller en fuktig och blåsig (SMHI, 2011a). Prognosmodellens tillförlitlighet påverkar energianvändningen.

2.3 Traditionell installationsteknik

I denna rapport definieras traditionell installationsteknik som installationssystem vilka arbetar oberoende av varandra i byggnaden och av uppvärmningssystem som endast styrs av en utetemperaturgivare.

2.3.1 Uppvärmningssystem

Byggnadens uppvärmningssystem är normalt uppbyggt av värmare i rummen, distributionssystem, värmekälla samt styr- och reglersystem. När de ingående delarna dimensioneras används som tidigare nämnts byggnadens tidskonstant och geografiska

läge för att bestämma DVUT. Om DVUT väljs för lågt blir systemet överdimensionerat, medan systemet inte klarar av att upprätthålla ett gott inneklimat om DVUT antas för högt. Uppvärmningssystemet dimensioneras för att klara av att upprätthålla en konstant dimensionerande innetemperatur vid DVUT eller varmare (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

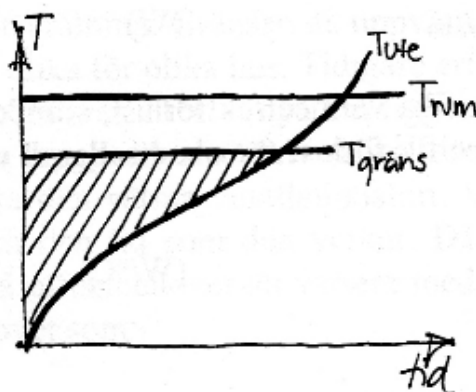
2.3.1.1 Värmare i rummet

Uppvärmning i rummet sker normalt med radiatorer, konvektorer, golvvärme eller genom uppvärmning med ventilationssystemet. Ett samverkande system med värmeväxling av ventilationsluften och en av de övriga uppvärmningskällorna leder till att uppvärmningssystemet kan dimensioneras med lägre effekt (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.3.1.2 Interna värmekällor

Vid projektering av uppvärmningssystem tillgodoses normalt en stor del av det värmeöverskott som genereras av processer i byggnaden och av solinstrålning vid beräkning av energibehovet. Detta beror på att värmesystemet kan stängas av innan önskad innetemperatur är uppnådd. Effektbehovet måste dock uppfyllas utan att de interna värmekällorna tillgodoses eftersom dessa är föränderliga.

Gränstemperaturen är den temperatur som värmesystemet behöver värma till och benämns $T_{gr\ddot{a}ns}$ (Warfvinge & Dahlblom, 2010). I figur 3 visas en fördelningskurva för utetemperaturens variation över året, innetemperatur och gränstemperatur.



Figur 3 Varaktigheten för ute-, rums- och gränstemperatur (Warfvinge, 2001).

Gränstemperaturen beräknas som en funktion av önskad innetemperatur, interna värmetillskott, solinstrålning samt byggnadens specifika värmeeffektförlust enligt

ekvation 6. Gränstemperaturen är normalt cirka 17°C i äldre bostäder medan välisolerade byggnader med god värmeåtervinning kan ha gränstemperaturer runt 5°C eller lägre (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

$$T_{gräns} = T_i - \frac{P_{gratis}}{Q_{tot}} \quad [T_{gräns}] = K \quad ekv.6$$

$$E = Q_{tot} \cdot \sum_{i=1}^{8760} (T_{gräns} - T_u) \cdot \Delta t, \quad T_{gräns} > T_u \quad [E] = Wh \quad ekv.7$$

Om energibehovet beräknas för hand med gradtimmemetoden används årssumman av skillnaden mellan gränstemperatur och utetemperatur tillsammans med byggnadens specifika värmeeffektförlust enligt ekvation 7 (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.3.2 Ventilationssystem

Ventilationssystem kan utföras enligt ett flertal principer, självdrag *S*, mekanisk frånluft *F*, fläktförstärkt självdrag *FFS* eller mekanisk till- och frånluft *FT(X)* med eller utan värmeåtervinning.

FT-system kan utföras med konstant flöde *CAV* eller variabelt flöde *VAV*. Det blir främst intressant att behovsanpassa flödet då belastningen är väldigt växlande som för exempelvis kontorslokaler. Flödesanpassningen sker under verksamhetstiden, ett system som har konstant flöde under dagen och ett annat konstant flöde under natten är fortfarande ett *CAV*-system. Systemet består normalt av från- och tilluftsdon i rummet, distributionssystem, luftbehandlingsaggregat och styr- och reglersystem för temperatur, tryck eller luftflöde. Systemet dimensioneras enligt samma princip som uppvärmningssystemet, inneklimatet ska hållas konstant på önskad nivå (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.3.3 Komfortkyla

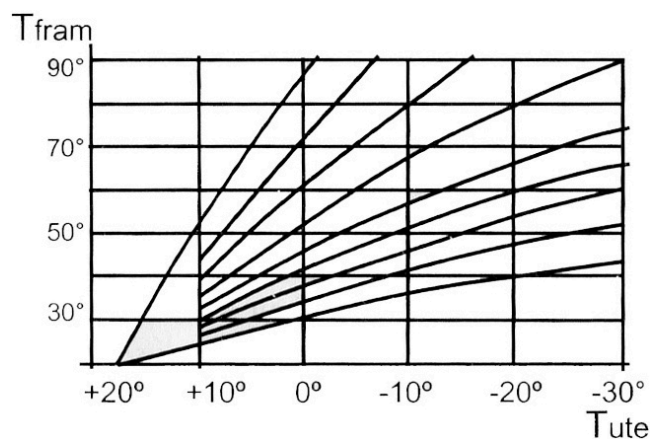
Kontors- och lokalbyggnader kan ha en väldigt stor intern värmeproduktion. Om det finns ett behov av komfortkyla tillgodoses detta normalt på ett av två sätt. Antingen används ett ventilationssystem med variabelt flöde alternativt ett vattenburet system för att kyla lokalen. Om systemet dimensioneras för att hålla inneklimatet konstant

oavsett väderleksförhållande blir detta system väldigt överdimensionerat. Som kompromiss ställs normalt kravet att en viss temperatur inte får överstigas mer än 10 % av arbetstiden under juli månad (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.3.4 Styr- och reglerstrategi

Behovet av värme, kyla och ventilation varierar både över dygnet och över året. För att de olika installationssystemen ska samverka och leverera ett behagligt inneklimat och samtidigt inte ha ett för stort energibehov används styr- och reglersystem för att övervaka driften (Forslund, 2010).

Med kännedom om byggnadens egenskaper, behov och laster bestäms systemets yttre driftsgränser, men så länge systemet inte fallerar sker ingen återkoppling. Ett exempel på styrning är att i projekteringsstadiet bestämma att systemet tillåter att innetemperaturen i en kontorslokal sjunker under helgen (Forslund, 2010). Traditionell kurvstyrning styr framledningstemperatur efter utomhustemperaturen, desto kallare ute desto högre framledningstemperatur. Endast en kurva som beskriver förhållandet mellan utomhustemperaturen och framledningstemperaturen för byggnaden väljs enligt figur 4. Kurvans krökta utseende beror på att radiatorernas k -värde varierar olinjärt mot temperaturskillnaden (Warfvinge & Dahlblom, 2010).



Figur 4 Traditionell kurvstyrning med exempel på flera kurvor (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Ett beräkningsexempel utnyttjar ekvation 5 och visar hur innetemperaturen har förändrats efter 12 timmar om uppvärmningssystemets effekt hålls oförändrad samtidigt som utetemperaturen på kort tid sjunker från 0°C till -10°C. Detta är inte ett

ovanligt fall för en svensk vinternatt. Byggnaden antas ha innetemperaturen 20°C och en tidskonstant på 150 timmar.

$$\begin{aligned}\tau &= 150h & t &= 12h \\ T_{i,0} &= 20^{\circ}\text{C} & T_{u,0} &= 0^{\circ}\text{C} & T_u &= -10^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

$$T_i = 20 - (0 - (-10)) \cdot \left(1 - e^{\frac{-12}{150}}\right) = 19,23^{\circ}\text{C}$$

Beräkningsexemplet visar tydligt att det inte finns något behov av att höja framledningstemperaturen i samma stund som temperaturförändringen sker utomhus. Det är onödigt att värma för -10°C så som en traditionell styrning gör om det rör sig om en dygnsvariation.

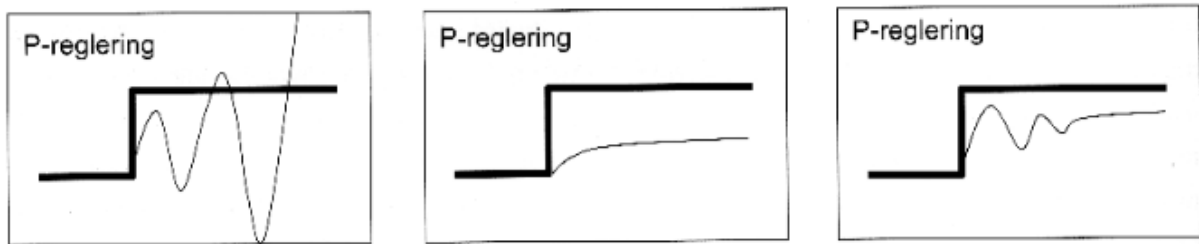
Kurvorna kan krökas kraftigare vid de kalla temperaturerna för att försöka utnyttja byggnadens värmetröghet. Kalla köldperioder förväntas ha kort varaktighet, därför leds mindre värme fram för att låta resterande behov tillfredställas av byggnadsstommen. Detta ställer dock till problem om köldknäppen är längre än vad som har antagits. Att kröka kurvorna på detta sätt sker ganska sällan och då ofta empiriskt (Rönneblad, 2011).

Reglering kräver i motsats till styrning ingen fysisk kunskap om systemet, istället sker en inställningsförändring på grund av att det önskade resultatet skiljer sig från det verkliga genom återkoppling. Det finns tre grundprinciper för reglering av installationssystem P-, PI- och PID-reglering (Forsslund, 2010).

2.3.4.1 P-reglering

Denna reglerprincip innebär att det finns ett proportionellt förhållande mellan utgiven effekt och reglerfelet som justerar värdet. Ett exempel på P-reglering är en radiator med reglerventil som ska värma ett rum till en önskad temperatur. Reglerventilens P-band är storleken på det temperaturförändringsintervall som krävs för att ventilen ska gå från helt stängd till fullt öppen. Tanken är att den önskade temperaturen ska ligga i mitten av intervallet, alltså när ventilen är till hälften öppen (Forsslund, 2010).

P-reglering innebär att systemet reagerar på en avvikelse från det önskade värdet vilket medför att det finns en kvarstående avvikelse som beror på belastningens storlek. Om P-bandet ökas blir avvikelsen större men regleringen stabilare, en minskning av P-bandet ger omvänd effekt (Forslund, 2010). Figur 5 visar hur P-bandet påverkar regleringen. Den tjocka linjen visar hur det önskade värdet förändras och den smala linjen visar hur det aktuella värdet korrigeras.

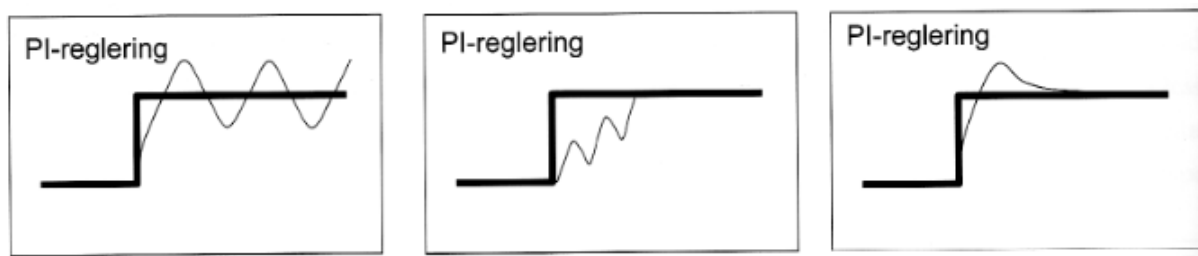


Figur 5 Inställning av P-band (Forslund, 2010).

Bilden till vänster i figur 5 visar ett P-band som är för smalt, om en reglerventil ställs in på detta vis kommer den att skifta mellan fullt öppen och fullt stängd. Det önskade värdet träffas ibland men systemet oscillerar eftersom ventilen överreagerar på varje avvikelse. Den mittersta bilden visar ett för brett P-band, om en reglerventil ställs in på detta vis kommer ventilen att ändra sitt öppningsläge väldigt lite när den korrigerar vilket medför att avvikelsen blir stor. Bilden till höger visar en korrekt inställning av P-bandet. Trots detta avviker systemet från det önskade värdet eftersom det reagerar på en avvikelse.

2.3.4.2 PI-reglering

För att undvika den avvikelse som sker med P-reglering kan reglerfunktionen utökas med integrerande reglering. Denna reglering korrigerar den avvikelse som sker vid P-reglering. På detta vis träffas önskat värde och systemet blir oberoende av belastningens storlek. P-bandets inställning bestämmer regulatorns snabbhet medan I-verkans tidsomfattning väljs med hänsyn till systemets tröghet (Forslund, 2010). Figur 6 visar hur inställning av PI-bandet påverkar regleringen. Den tjocka linjen visar hur det önskade värdet förändras och den smala linjen visar hur det aktuella värdet korrigeras.



Figur 6 Inställning av PI-band (Forslund, 2010).

Bilden till vänster i figur 6 visar en inställning med för smalt P-band och för kort I-tid vilket medför att resultatet pendlar kring önskat värde. Den mittersta bilden visar ett korrekt inställt P-band med för lång I-tid, systemets tröghet är överskattad och det reagerar för sent. Bilden till höger visar en korrekt inställning, önskat värde uppnås utan avvikelser.

2.3.4.3 PID-reglering

Om reglerkraven är högt ställda kan en deriverande funktion läggas till. Med PID-reglering kan systemet forcera reglerprocessen vid snabba belastningsförändringar genom att D-funktionen känner av lägesändringen. PID-reglering är vanligt för exempelvis tappvarmvattentemperaturer där förändringarna är stora under korta tidsförlopp, men annars ovanligt vid reglering av rumsklimat (Forslund, 2010).

2.4 Injustering

I ett radiatorsystem anpassar sig vattenflödet efter systemets olika tryckfall. För ett vattenburet uppvärmningssystem som inte är korrekt injusterat är en vanlig konsekvens att radiatorerna närmast värmekällan avger mer värme än de längre ut i nätet (Värmex, 2011). En vanlig åtgärd för att avhjälpa problemet är att höja framledningstemperaturen så att radiatorerna längre ut i nätet avger önskad värmemängd. Detta leder dock till att radiatorer närmare värmekällan levererar för mycket värme som riskerar att transporteras bort via exempelvis vädring. Obalanser bör istället åtgärdas genom en injustering vilket sänker energianvändningen då medeltemperaturen i byggnaden kan sänkas med ett system som har mindre temperaturvariationer mellan olika lägenheter (Jensen, 2011).

Genom en injustering justeras tryckfallen i systemet så att rätt vattenflöde når byggnadens olika radiatorer. Olika skäl till att ett injusteringsbehov uppstår är att

tryckfall eller värmebehov inte stämmer överens med projekteringsunderlaget eller att rördragningar har ändrats i byggskedet (Jensen, 2011). En injustering av ett värmesystem kan leda till energibesparingar i storleksordningen 5-15 % beroende på hur dåligt injusterat systemet är från början (Värmex, 2011).

2.5 Normalårskorrigerig

Normalårskorrigerig av byggnaders energianvändning genomförs för att energianvändningen vid perioder med olika utetemperatur ska kunna jämföras med varandra (Schulz, 2003).

2.5.1 Graddagsmetoden

Korrigerig med graddagsmetoden utförs på den del av energianvändningen som anses vara klimatberoende enligt ekvation 8 (Schulz, 2003).

$$E_{korrigerad} = E_{kl.oberoende} + (E_{tot} - E_{kl.oberoende}) \cdot \frac{GD_{normalår}}{GD_{aktuellt\ år}} \quad [E_{korrigerad}] = Wh \quad ekv.8$$

Den klimatberoende energianvändningen subtraheras från den totala energianvändningen, återstående del multipliceras med kvoten för antalet graddagar under ett normalår mot det aktuella årets antal. Därefter adderas den klimatberoende energianvändningen igen.

2.5.2 Energi-index

Energi-index är en normalårskorrigeringsmetod som bygger på graddagsmetoden. Den tar hänsyn till sol, vind, temperatur samt byggnadens läge, användningssätt och energitekniska egenskaper. Beräkningen utgår oftast ifrån ett typhus som kan anses representativt för orten eller majoriteten av byggnadsbeståndet. Parametrarna används för att skapa ekvivalenta graddagar som sedan används för klimatkorrigering enligt ekvation 9. Energi-index kan även beräknas för specifika byggnader (SMHI, 2011b).

$$Energiindex = \frac{GD_{ekv,aktuellt\ år}}{GD_{ekv,normalår}} \quad ekv.9$$

Om kvoten är större än 1 har uppvärmningsbehovet varit större än ett normalår för orten eller byggnadstypen. En kvot lägre än 1 är ett år med lägre uppvärmningsbehov än normalåret (SMHI, 2011c).

2.5.3 Effektsignatur

Byggnadens effektsignatur är ett sätt att beskriva hur byggnaden beter sig värmetekniskt utifrån tidigare uppmätt energianvändning. Genom att under en tidsperiod redovisa tillförd medelvärmeeffekt som en funktion av medelutetemperatur beräknas ett förväntat energibehov som sedan används för nästkommande tidsperiod (Schulz, 2003).

3 System för utnyttjande av byggnaders värmetröghet

I följande kapitel beskrivs de företag och installationstekniska system som undersöks i projektet.

3.1 eGain

eGain är ett svenskt företag med huvudkontor i Kungsbacka. Företaget öppnade sin verksamhet 2003 och har fram till idag sålt in sitt system till över 130 000 lägenheter. Enligt eGain är deras energibesparingspotential 10-15 % på uppvärmningsbehovet. Efter drifttagandet genomförs en ny energianalys av byggnaden två gånger per år. Utöver energibesparingen ska systemet även ge ett jämnare inneklimat (Geiser, 2011).

3.1.1 Systemet

Företaget använder sig av ett styrsystem som ansluts till det befintliga värmesystemet. Produkten lämpar sig enbart för vattenburna värmesystem som kan styras från en enda punkt. Systemet använder sig av prognosstyrning där utetemperaturgivaren som styr traditionella system ersätts av en mottagare som tar emot lokala väderprognoser. Ingen injustering av systemet genomförs i företagets regi vid installation men de rekommenderar dock att en injustering genomförs. Styrsystemet ska beakta solinstrålning, solinstrålningsvinkel, reflektion från mark, vindhastighet, vindriktning, byggnadens fönster- och väggareor, orientering och byggnadens värmetröghet. Enskilda radiatorer kan regleras på samma sätt innan och efter att styrsystemet installerats (Geiser, 2011).

Företaget riktar sin produkt mot flerbostadshus där energibesparingen sker genom att värmesystemet anpassas efter den termiska energin som finns lagrad i stommen baserat på byggnadens tidskonstant och väderprognoser. Systemet använder sig av en ekvivalent temperatur istället för utetemperatur för att bestämma börvärdet på framledningstemperaturen. Uppvärmningssystemets drifttoppar förskjuts och systemet kan arbeta med lägre och jämnare effekt eftersom värmeenergi lånas från byggnadsstommen. Systemet utvärderar kontinuerligt prognosens kvalitet och vid för stora avvikelser skiftar systemet över till att styra efter utetemperaturen istället för prognos (eGain, 2011). Den genomsnittliga besparingen för cirka 2000 byggnader runt

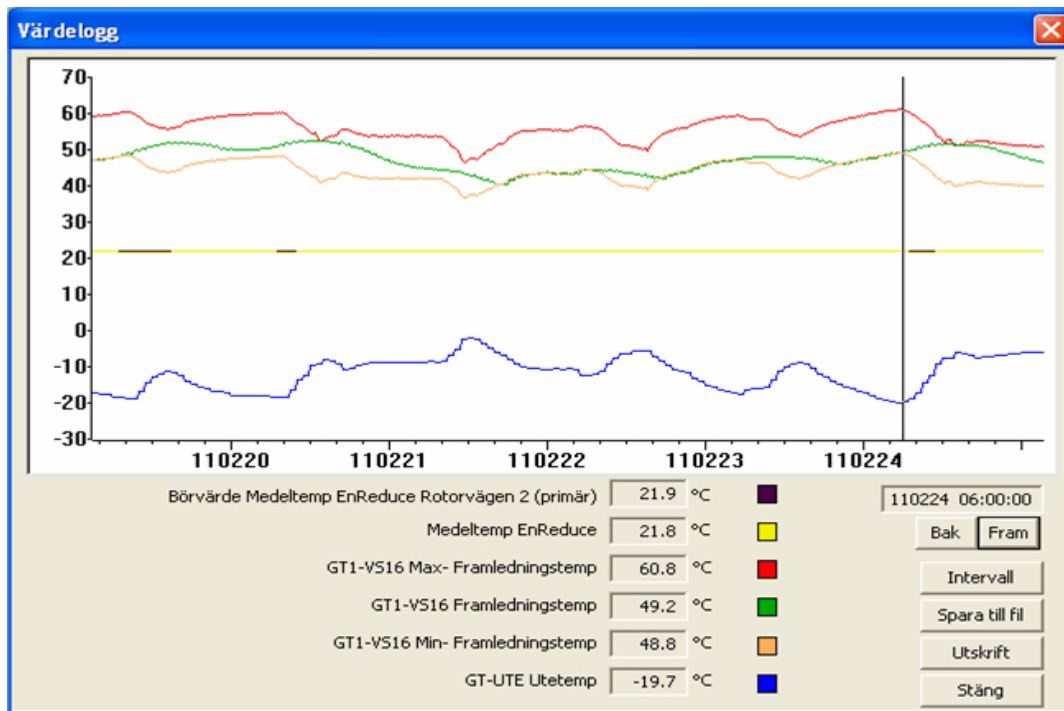
om i Sverige har enligt eGain hittills varit 12 kWh/(m² år). Arealen gäller bostadsarea BOA (Geiser, 2011).

3.2 EnReduce Energy Systems

Det svenska företaget EnReduce Energy Systems med kontor i Uppsala grundades 1988, företaget har sålt in sitt system till mer än 50 000 lägenheter. Efter systemets intrimningsperiod kan fastighetsägaren välja mellan att abonnera på styrningen med namnet EnReduce och hyra installerad utrustning. Alternativt kan fastighetsägaren köpa utrustningen och själv sköta driften. Utöver energibesparingen ska systemet även ge ett jämnare inneklimat (Blekastad, 2011). Enligt EnReduce är deras besparingspotential 15-25 % på energibehovet för uppvärmning (EnReduce, 2011).

3.2.1 Systemet

Företaget använder sig av ett styrsystem kallat EnReduce som ansluts till det befintliga värmesystemet, det kan även användas för ventilationsstyrning (Lindström, 2011). För styrning av värmeförsörjning monteras temperaturgivare i utvalda lägenheter på byggnadens syd- och norrvända lägenheter, dessa temperaturgivare ersätter utetemperaturgivaren. Dessa givare har en känslighet på hundradelar av en grad (Anderstam, 2011). Givarnas placering i lägenheten beror på husets egenskaper, i en byggnad med mekanisk frånluft placeras givarna normalt vid frånluftsuttaget. Givarnas noggrannhet möjliggör väldigt exakt återkoppling, exempelvis kan en sänkning av innetemperaturen på 0,2°C ge en markant sänkning av toppeffekten på morgonen, i ett försök med E.ON kunde maxeffekten sänkas med 60 % (Lindström, 2011). Systemet arbetar med att jämna ut effektuttaget genom att försöka maximera utnyttjandet av byggnadens termiska lagring och gratis energi innan köpt energi tillförs (Blekastad, 2011). Figur 7 visar den loggade framledningstemperaturen med traditionell styrning och med EnReduces system plottat mot innetemperatur och utetemperatur för en undercentral från en bostadsrättsförening i Västerås under några dagar i februari 2011. Den röda linjen visar framledningstemperatur med traditionell styrning, den gröna visar med EnReduce, linjen som är beige visar lägsta tillåtna framledningstemperatur, den gula visar innetemperatur och den blå utetemperatur (Lindström, 2011).



Figur 7 Framledningstemperatur med traditionell kurvstyrning och EnReduces styrning jämfört med utetemperatur (Lindström, 2011).

Styralgoritmen ska beräkna den termiska lagringsnivån i byggnaden och endast tillföra värme då de invändiga sensorerna mäter en för låg temperaturnivå och byggnadens värmelager är otillräckligt. Intrimningsperioden kan variera från någon månad till en hel uppvärmningssäsong för att ställa in algoritmens olika parametrar. Ingen injustering genomförs vid installation, men när systemet är i drift belyser det eventuella obalanser och ger en indikering om justeringar behövs. Eventuella energibesparande åtgärder som genomförs i byggnaden efter systemets installation blir automatiskt beaktade av sensorerna då temperaturen inte sjunker under miniminivån lika snabbt. Byggnadens brukare har samma reglermöjligheter på radiatorer som innan installation med skillnaden att de endast kan reglera temperaturen nedåt från styrningens maximalt tillåtna temperatur. Enligt EnReduce har systemet även kunnat ge en fortsatt sänkning av energianvändningen efter första året på grund av förändrade brukarvanor då de inte ventilerar bort överskottsvärme i samma utsträckning som tidigare (Blekstad, 2011).

3.3 Kabona

Företaget har sitt huvudkontor i Borås och har sedan starten 2001 cirka 1 000 installationer i drift i Sverige och ytterligare cirka 150 i Europa (Kabona, 2011a). Enligt Kabona är medelbesparingen på alla deras anläggningar 25 % för fjärrvärme, 15 % för el och 30 % för kyla sedan våren 2008 (Kabona, 2011b). I samband med drifttagandet tecknas ett tvåårsavtal där energibalansberäkningar genomförs kvartalsvis tillsammans med månadsvisa kontroller av anläggningen. Under dessa kontroller utbildas även brukaren om systemet. Utöver energibesparingarna ska systemet även ge ett jämnare inneklimat (Carlberg, 2011).

3.3.1 Systemet

Företaget använder sig av ett gemensamt styrsystem för ventilation, värme och kyla, kallat Ecopilot. Det gemensamma styrsystemet eliminerar risken för att uppvärmningssystemet och ventilationen motverkar varandra genom att värma och kyla samtidigt, vilket kan ske i system utan intern kommunikation. Styrningen ska ta stommens värmekapacitet i beaktning och använder sig av lokala väderprognoser för att beakta utetemperatur, vindriktning, sol och nederbörd. Prognoserna används tillsammans med innetemperaturgivare för att styra inneklimatet (Kabona, 2011b). Givarna placeras nära frånluftsdon för att ge en representativ bild av inneklimatet, för bostäder blir det ofta i en hall nära badrum eller kök. Ett kontorshus i flera våningar kan delas in i plan och sedan på mitten mellan en sydlig och en nordlig del, dessa olika ytor representerar varsin verksamhetsyta vilken normalt innehåller tre givare placerade nära frånluftsuttag. Efter att Ecopilot installerats tillåts brukare inte reglera rumstemperaturen mer än $\pm 1^\circ\text{C}$ då större temperaturskillnader mellan rummen förväntas jäsna ut sig. De olika verksamhetsytorna kan dock styras med individuella inneklimatskrav (Carlberg, 2011).

Systemet används i olika omfattning i flerbostadshus respektive kontor, köpcentrum och sjukhus. Störst energibesparing åstadkoms för fastigheter med stort kylbehov. Baserat på schablonvärde för byggnadens tidskonstant, väderprognos och temperaturgivare inomhus styrs de olika börvärdena för uppvärmning, ventilation och komfortkyla. Börvärdet tillåts variera inom ett bestämt intervall, börvärden som styrs är tilluftstemperatur och tryckfall för ventilation medan börvärde för värme- och

kylsystem är framledningstemperatur. Ingen injustering sker i företagets regi i anslutning till installationen. Dock intrimmas och injusteras installationssystemen efter hand då obalanser upptäcks med Ecopilot när olika delar av systemen inte träffar önskade värden. Byggnadens börvärden styrs av en balanstemperatur som beräknas utifrån byggnadens energibalans och är den temperatur då värmesystemet inte längre behöver värma byggnaden för att uppnå önskat inneklimat. Enligt Kabona är balanstemperaturen för kontorslokaler normalt 12-14°C under verksamhetstid, handelscentrumet Frölunda Torg har en balanstemperatur på 0°C. Bostadshus med frånluftssystem brukar normalt uppnå en energibesparing på cirka 15 % för fjärrvärme och 10 % för el. Kontorslokaler med FTX-system brukar normalt uppnå besparingar på 20-25 % för fjärrvärme, 15 % för el och cirka 30 % för fjärrkyla (Carlberg, 2011).

3.4 NordIQ

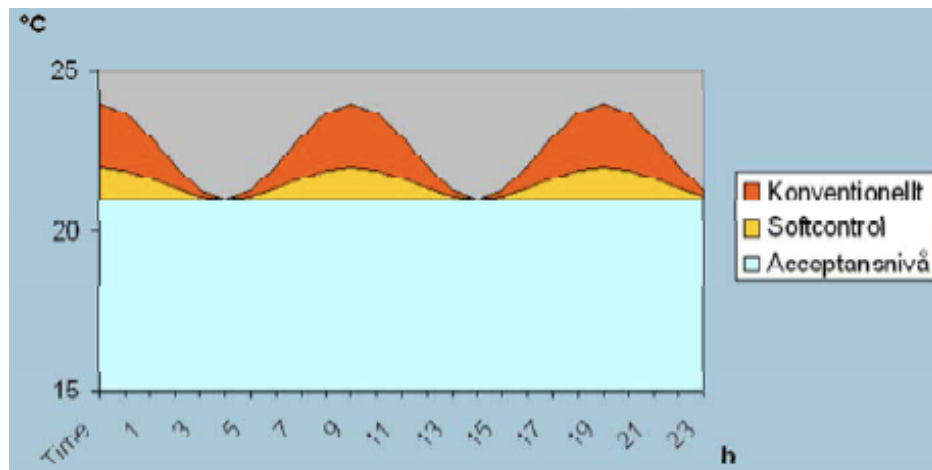
Det svenska företaget NordIQ har sitt huvudkontor i Nol utanför Kungälv och har haft sin egenutvecklade fjärrvärmecentral på marknaden sedan 2003. Enligt NordIQ är deras energibesparingspotential 10-25 % på uppvärmningsbehovet. Utöver energibesparingarna ska systemet även leda till ett jämnare inneklimat (NordIQ, 2011).

3.4.1 Systemet

Företagets fjärrvärmecentral ansluts till det befintliga uppvärmningssystemet och ersätter den konventionella centralen som finns i huset. Konventionella fjärrvärmecentraler regleras normalt med PI-reglering, med NordIQs produkt byts regleringen ut mot en egenutvecklad styrenhet kallad SoftControl. Styrsystemet beaktar byggnadens effektsignatur tillsammans med dess tidskonstant och balanstemperatur. Med hjälp av effektsignatur och balanstemperatur kan mängden värme som behöver tillföras byggnaden beroende av rådande utetemperatur utläsas, tidskonstanten styr systemets fördröjning. För att beräkna effekten som levereras till byggnaden mäts flödet på sekundärsidan och tryckfallet på primärsidan för att beräkna flödet. Temperaturskillnaden mellan fram- och returledning mäts på båda sidor om värmeväxlaren (Gummérus, 2011). Effekten som ska levereras beräknas med kunskap om vattnets densitet, specifika värmekapacitet, flöde och temperaturskillnad över värmeväxlaren enligt ekvation 10 (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

$$P = \rho \cdot c \cdot q \cdot \Delta T \quad [P] = W \quad \text{ekv.10}$$

Ett korrekt injusterat system ska leda fram exakt den värmemängd som byggnaden behöver vilket minskar temperaturvariationerna i jämförelse med konventionella system enligt figur 8. Detta leder till lägre energianvändning då mängden överskottsvärme minskas (Gummérus, 2011).



Figur 8 Temperaturvariation i rummet med konventionellt system eller SoftControl jämfört med acceptansnivå (NordIQ, 2011).

Genom att mindre mängd överskottsvärme tillförs värmeväxlarens sekundärsida skickas returvattnet åter med lägre temperatur. Detta leder till ökad avkylning på primärsidan vilket gynnar nätägaren, fastighetsägaren gynnas inte nödvändigtvis av detta (Andersson & Werner, 2005).

Konventionella fjärrvärmecentraler reglerar normalt tappvattenuppvärmningen med PID-reglering där skillnaden mellan vattnets är- och börvärde ger styrsignal för ventilens öppningsgrad. NordIQs egenutvecklade styrenhet för uppvärmning av tappvatten kallas Enabler och beräknar den energimängd som behöver tillföras för att vattnet ska nå önskad temperatur till skillnad från PID-reglering som arbetar för att rätta till skillnaden i efterhand. Med NordIQs Enabler ska styrningen bli snabbare och stabilare då ingen återkoppling av resultatet är nödvändig eftersom värmebehovet är känt innan korrigeringen genomförs. Tidigare studier har visat att en viss energibesparing görs för tappvattenuppvärmning, anledningen är dock inte klarlagd (Andersson & Werner, 2005).

För att jämna ut byggnadens effektuttag under dygnets drifttoppar använder systemet sig av en effektbegränsning. Under drifttoppar för tappvattenuppvärmning stryps värmeförseln för uppvärmning tillfälligt och värme lånas istället från stommens värmelager (Andersson & Werner, 2005).

3.5 TermoDeck

Produkten utvecklades i Sverige på 1970-talet och det finns idag cirka 380 hus runt om i världen som använder systemet (TermoDeck, 2011a). Enligt TermoDeck är deras energibesparingspotential 20-50 % och den maximala lasten för eventuella komfortkylsystem kan reduceras med 70-90 % under drifttoppar (TermoDeck, 2011b). Jämfört med kontorslokaler i Sverige med radiatorsystem och kylbafflar görs en energibesparing för komfortkyla på 50 %. För flerbostadshus görs en besparing på 5 % av uppvärmningsenergin. Systemet ska dessutom minska användningen av driftel jämfört med luftkylda system (Engström, 2011). Eftersom systemet leder tilluft genom håldäcksbetongbjälklag är metoden endast applicerbar vid nyproduktion (TermoDeck, 2011c). Systemet används utan radiatorer eller andra värmare i rummet. Istället används interna laster och vid behov batterivärmeväxlare för att värma tilluften vare sig det är kontor, skolor eller flerbostadshus. Utöver energibesparingarna ska systemet även ge ett jämnare inneklimat (Engström, 2011).

3.5.1 Systemet

TermoDeck-systemet utnyttjar värmekapaciteten i håldäcksbetongbjälklag. Innan tilluften når rummet passerar den genom kanalerna i byggnadens bjälklag vilket arbetar som en värmeväxlare. Värmeutbytet mellan bjälklaget och ventilationsluften ökas jämfört med en vanlig betongstomme på grund av att lufthastigheten tillåts vara högre i håldäcken än inom en komfortzon (Adl-Zarrabi et al., 2011). Figur 9 visar TermoDecks håldäckselement.



Figur 9 TermoDecks system (Adl-Zarrabi et al., 2011).

Utöver värmeutbytet i håldäckskanalerna finns det även ett utbyte mellan bjälklaget och rumsluften. Nyttan av detta reduceras av täckande golvsikt eller undertak som hindrar värmeutbytet mellan bjälklag och rumsluft (Adl-Zarrabi et al., 2011).

Jämfört med ett traditionellt system använder sig TermoDeck av fläktar som arbetar med lägre effekt under längre tid, luftflödet dimensioneras av kyl- eller värmebehovet. Fläktarna arbetar med ett grundflöde på 60-70 % av maxbehovet för att endast använda kvarstående kapacitet efter behov. På grund av byggnadernas höga värmetröghet delas de ofta in i en inre klimatzon och en fasadzon, oavsett väderstreck. Det som får stor påverkan på inneklimatet är solinstrålning, vilket ökar vikten av passiva solskydd (Engström, 2011).

Systemet sänker energianvändningen för kyla eller uppvärmning och även driftel genom att variera luftflöde och värmeväxling efter behov. Tilluftstemperaturen styrs av zonen gemensamma frånluftstemperatur, rumstemperaturgivare kan även användas för att styra på rumsnivå. En kontorsbyggnad kan kylas med uteluft under natten för att motverka temperaturuppgången på grund av internvärme under verksamhetstiden. Om uteluften är 5°C kallare än inneluften används denna för att kyla. Om temperaturdifferensen är mindre används kylmaskin och luften får istället cirkulera inom byggnaden. Styrningen ska prioritera låga luftflöden med hög temperaturdifferens framför högt flöde och låg temperaturdifferens. Styrningen ska hela tiden leta efter det energisnålaste alternativet för att temperera byggnaden genom att ändra antingen luftflöde eller tilluftstemperatur (Engström, 2011).

3.6 Sammanställning

I tabell 5 sammanfattas nyckelpunkter för de olika företagens tekniska lösningar.

Tabell 5 Sammanställning av kommersiella system.

	eGain	EnReduce	Kabona	NordIQ	TermoDeck
Målgrupp flerbostadshus	x	x	x	x	x
Målgrupp kontor/lokal		x	x	x	x
Nyproduktion	x	x	x	x	x
Ombyggnad	x	x	x	x	
Prognosstyrning	x		x		
Innetemperaturgivare		x	x		x
Injustering	x*	x**	x**	x	
Intrimningsperiod	x	x	x	x	
Minskar värmebehov	x	x	x	x	x
Minskar energianv. för tappvattenuppv.				x	
Minskar energianv. för komfortkyla			x		x
Minskar driftelanv.			x		x
Reglermöjlighet, brukare	x	x	x	x	
Tidskonstant för balanstemperatur / ekvivalent temperatur	x	x	x	x	
Jämnare inneklimat	x	x	x	x	x
Minskar maxeffekt för uppvärmning	x	x	x	x	x
Minskar maxeffekt för komfortkyla			x		x

*eGain rekommenderar att injustering genomförs.

**EnReduce och Kabonas styrningar upptäcker om det finns ett injusteringsbehov.

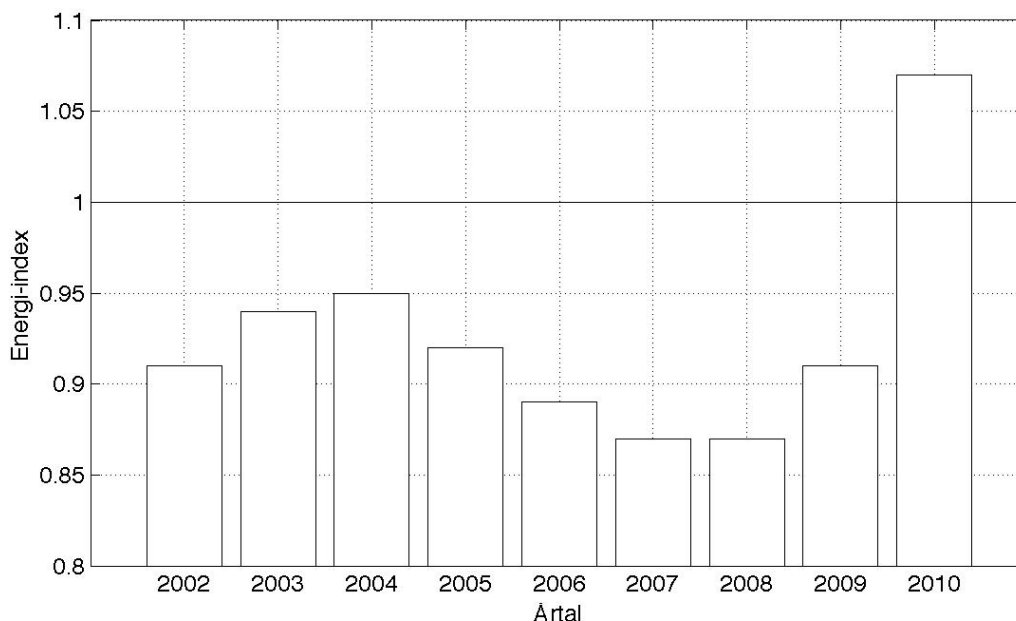
4 Objektstudier

I följande kapitel beskrivs de fastigheter som har undersökts och hur deras energianvändning för uppvärmning har förändrats efter att de olika kommersiella systemen har installerats.

4.1 Byte från traditionell styrning till eGain

AB Ystadbostäder är ett fastighetsbolag med cirka 1 300 bostäder och ett 70-tal lokaler i sitt bestånd. Bolaget har i omgångar installerat eGains system i mer än hälften av sitt bestånd och för tillfället styrs cirka 67 000 m² BOA uppdelat på 20 fastigheter. En av fastigheterna fick systemet installerat 2011 och därför används endast driftstatistik för övriga 19 fastigheter som har installationsår 2004, 2006, 2007 och 2009.

Energianvändningen har normalårskorrigerats med energi-index och Ortsindex för Ystad.



Figur 10 Energi-index 2002-2010, Ystadbostäder.

Figur 10 visar att det väntade uppvärmningsbehovet var lägre än för ett normalår 2002-2009 och större under 2010.

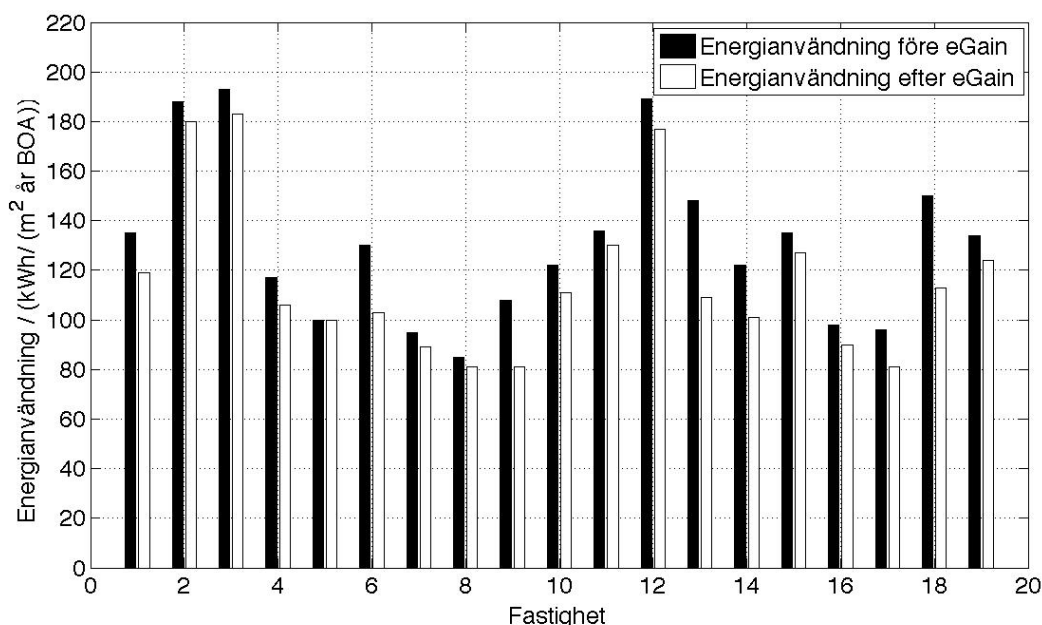
4.1.1 Resultat

Ystadbostäder valdes ut som referens av eGain. Information om fastigheterna som undersöks finns i tabell 6, fastighetsnumreringen används även i tabell 7 och figur 11. Majoriteten av byggnaderna ventileras med självdrag, uppvärmning sker med fjärrvärme och radiatorsystem. Inga energibesparande åtgärder ska ha genomförts i samband med installation utöver eGains styrning. Det är dock osäkert om vissa fastigheter har injusterats. Alla areamått i detta delkapitel är boarea BOA.

Tabell 6 Fastighetsinformation Ystadbostäder.

Fastighet	Fastighetsnamn	Lgh.	BOA/m ²	Installation	Driftstatistik
1	Bachus N 11	20	1 970	2009	2008-2010
2	Birgitta 27, 33, 35	24	1 677	2009	2008-2010
3	Disa 1,3,4	18	1 433	2009	2008-2010
4	Eliasson 2	20	855	2009	2008-2010
5	Eliselund 1	28	1 540	2009	2008-2010
6	Eskilsson 11	-	855	2009	2008-2010
7	Grundström 1	80	5 326	2009	2008-2010
8	Malmö 4	88	6 532	2009	2008-2010
9	Ronja 1, Pippi Långstrump 1	-	2 839	2009	2008-2010
10	Solliden 8	22	1 614	2009	2008-2010
11	Sorgenfri 1	24	1 586	2009	2008-2010
12	Ystad 3	27	715	2009	2008-2010
13	Ystad 4		1 456	2009	2008-2010
14	Östman 1 & 2	28	1 715	2009	2008-2010
15	Kv. Fridhem 1	246	16 434	2004	2003-2007
16	Kv. Pernilla 14-16	55	3 729	2007	2006-2010
17	Kv. Sadeln 1	64	5 961	2006	2005-2010
18	Kv. Ulrika 7, Thora 9	34	2 043	2007	2005-2010
19	Kv. Wilhelmina 10	-	7 248	2007	2005-2010
-	Eskilsson 9	14	1 085	2011	-

Den normalårskorrigerade energianvändning för uppvärmning innan och efter installation av eGains system visas i figur 11. I de fall flera års driftstatistik finns tillgänglig har energianvändningen medelvärdesbildats, detta gäller fastigheterna numrerade 15-19. Året då systemet installerades används ej i jämförelsen.



Figur 11 Normalårskorrigerad energianvändning för uppvärmning innan och efter installation av eGains system, Ystadbostäder.

Nummer 15, Kv. Fridhem är den enda fastigheten som har installationsår 2004. Den normalårskorrigerade energianvändningen för uppvärmning under 2003 var 135 kWh/m² för att sjunka till 126-128 kWh/(m² år) under 2005-2007. Efter 2007 sjönk energianvändningen ytterligare för att ligga på 115-118 kWh/(m² år) under 2008-2009. Denna nedgång i energianvändningen bör bero på att ytterligare energibesparande åtgärder har genomförts för fastigheten som inte kan tillskrivas prognosstyrningen. På grund av detta används endast 2003-2007 i jämförelsen.

Nummer 17, Sadeln fick systemet installerat under 2006. Energianvändningen under 2007 har ej använts på grund av felregistrering. Under 2005 var den normalårskorrigerade energianvändningen för uppvärmning 96 kWh/m² för att efter installation sjunka till 79 kWh/m² under 2008 och 85 kWh/m² under 2009. Under 2010

sjönk energianvändningen till 78 kWh/m² trots att det året borde haft störst uppvärmningsbehov av alla.

Under 2007 installerades systemet i nummer 16, 18 och 19. Alla tre fastigheters energianvändning för uppvärmning sjunker efter installation. Alla övriga fastigheter, 1-14, fick systemet installerat under 2009. I tabell 7 visas normalårskorrigerad energianvändning och besparing för Ystadbostäder, värden för fastighet 15-19 är medelvärdesbildade.

Tabell 7 Normalårskorrigerad driftstatistik Ystadbostäder.

Fastighet	Energianvändning innan installation/ (kWh/(m² år))	Energianvändning efter installation/ (kWh/(m² år))	Besparing/ (kWh/(m² år))	Besparing/ %
1	135	119	16	12
2	188	180	8	4
3	193	183	10	5
4	117	106	11	9
5	100	100	0	0
6	130	103	27	21
7	95	89	6	6
8	85	81	4	5
9	108	81	27	25
10	122	111	11	9
11	136	130	6	4
12	189	177	12	6
13	148	109	39	26
14	122	101	21	17
15	135	127	8	6
16	98	90	8	8
17	96	81	15	16
18	150	113	37	25
19	134	124	10	7

Innan eGains installation var medelenergianvändningen för uppvärmning 131 kWh/(m² år) BOA. Medelbesparingen är 15 kWh/(m² år) med en standardavvikelse på 11 kWh/(m² år). Den relativa medelbesparingen är 11 % med en standardavvikelse på 8 %.

4.2 Byte från eGain till EnReduce Energy Systems

Halmstads kommunala fastighetsbolag, HFAB har ett fastighetsbestånd på cirka 9 800 hyresrätter och 300 lokaler. EnReduces system har installerats i 1 280 lägenheter i området Vallås som visas i figur 12.



Figur 12 Översiktsplan Vallås, Halmstad.

Området var först utrustat med eGains systemet som sedan byttes ut mot EnReduce. Innetemperaturgivarna installerades under oktober 2009 och EnReduces system var i full drift under januari-februari 2010.

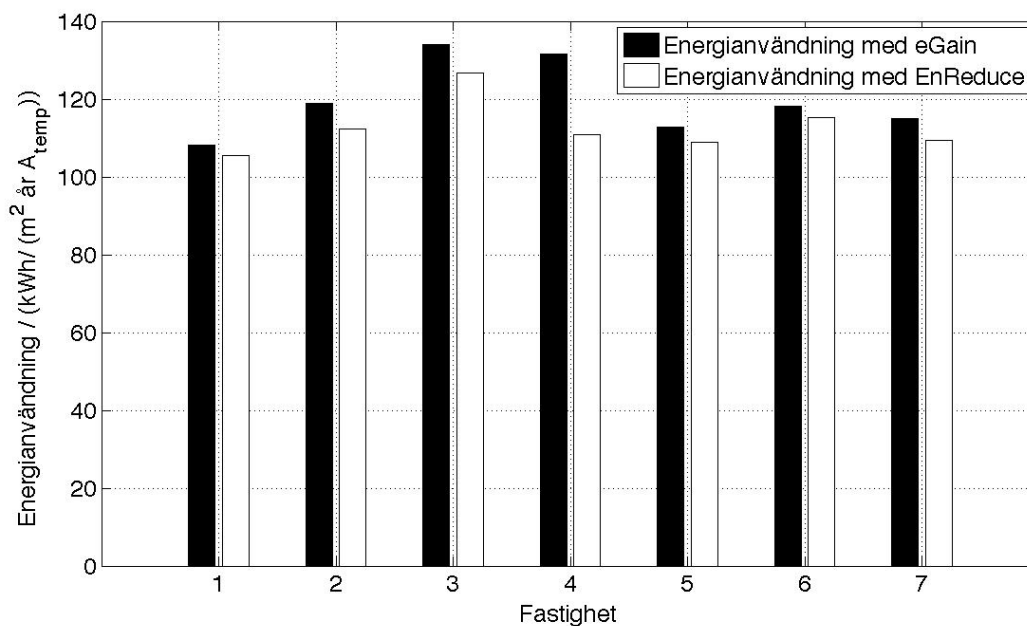
4.2.1 Resultat

Projektet valdes ut av författarna ovetandes om att byggnaderna använde sig av eGain innan bytet till EnReduce. Projektet är ett av EnReduces officiella referensprojekt. Uppvärmning sker med fjärrvärme och radiatorsystem, byggnaderna ventileras med mekanisk frånluft. Inga energibesparande åtgärder ska ha gjorts utöver installation av EnReduce. Energianvändningen är normalårskorrigerad med graddagsmetoden. Alla areamått i detta delkapitel är A_{temp} . Tabell 8 visar fastighetsinformation.

Tabell 8 Fastighetsinformation HFAB.

Fastighet	Fastighetsnamn	A _{temp} /m ²
1	Vagnen 1, Vasäng	12 437
2	Valthornet 1, Valpen 1	21 221
3	Vallmon 1	20 372
4	Vallonen 1	20 372
5	Vallen 1, 2	20 461
6	Valkyrian 1	9 148
7	Valfisken 1, 2	15 877

År 2009 används som underlag för energianvändning för uppvärmning innan bytet till EnReduce gjordes. Som underlag för tiden efter installation används mars 2010 till och med februari 2011. Figur 13 visar den normalårskorrigerade energianvändningen för uppvärmning före och efter installation.



Figur 13 Normalårskorrigerad energianvändning för uppvärmning med eGain och EnReduce, HFAB.

Varje fastighet visar en minskning av energianvändning för uppvärmning. Tabell 9 visar energianvändning och besparing för de olika fastigheterna.

Tabell 9 Normalårskorrigerad driftstatistik HFAB.

Fastighet	Energianvändning med eGain/ (kWh/(m ² år))	Energianvändning med EnReduce/ (kWh/(m ² år))	Besparing/ (kWh/(m ² år))	Besparing/ %
1	108	105	3	2
2	119	112	7	5
3	134	127	7	5
4	132	111	21	16
5	113	109	4	3
6	118	115	3	2
7	115	110	5	5

Medelenergianvändningen innan installation av EnReduce var 120 kWh/(m² år) A_{temp} . Medelbesparingen är 7 kWh/(m² år) med en standardavvikelse på 6 kWh/(m² år). Den relativa medelbesparingen är 6 % med en standardavvikelse på 5 %.

4.3 Byte från traditionell styrning till EnReduce Energy Systems

Dombron förvaltar ett fastighetsbestånd på 142 fastigheter om cirka 645 000 m² på flera orter i Sverige. I Uppsala har nio undercentraler installerats med EnReduces system i cirka 2 000 lägenheter. I fem av dessa anläggningar installerades innetemperaturgivare under november 2009 och det är endast dessa som utvärderas.

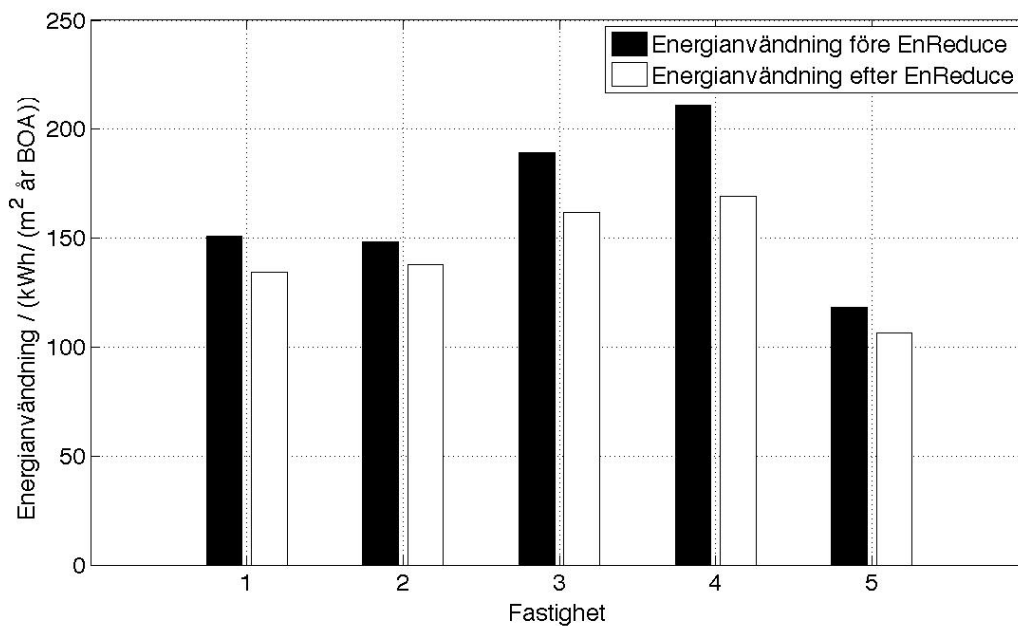
4.3.1 Resultat

Projektet valdes ut av författarna, det är dock ett av EnReduces officiella referensprojekt. Byggnaderna är uppförda under 1950- och 1960-talen, uppvärmning sker med fjärrvärme och radiatorsystem och ventilation sker med självdrag, area visas i tabell 10. Inga energibesparande åtgärder ska ha gjorts utöver installation av EnReduce. Energianvändningen är normalårskorrigerad med graddagsmetoden och alla areamått i detta delkapitel är BOA.

Tabell 10 Fastighetsinformation Dombron.

Fastighet	Fastighetsnamn	BOA/m ²
1	Kvarngärdet 4:1	36 690
2	Kvarngärdet 9:1, 9:2	19 568
3	Kvarngärdet 8:1	13 524
4	Fålhagen 6:4	1 160
5	Kvarngärdet 5:1	14 362

Hela 2009 används som utvärdering av energianvändning för uppvärmning då systemet inte är i full drift förrän en tid efter installation. För utvärdering av energianvändningen efter installation används hela 2010. Figur 14 visar energianvändningen för uppvärmning innan och efter installation.



Figur 14 Normalårskorrigerad energianvändning för uppvärmning innan och efter installation av EnReduces system, Dombron.

Varje fastighet visar en minskning av energianvändning för uppvärmning. Enligt EnReduce var central 2 inte ännu intrimmad och förväntas ge ytterligare besparing. Tabell 11 visar energianvändning och besparing för de olika fastigheterna.

Tabell 11 Normalårskorrigerad driftstatistik Dombron.

Fastighet	Energianvändning innan byte/ (kWh/(m ² år))	Energianvändning efter byte/ (kWh/(m ² år))	Besparing/ (kWh/(m ² år))	Besparing/ %
1	151	134	17	11
2	148	138	11	7
3	189	162	28	15
4	211	169	42	20
5	118	107	12	10

Innan installation av EnReduce var medelenergianvändningen för uppvärmning 163 kWh/(m² år) BOA. Medelbesparingen är 22 kWh/(m² år) med en standardavvikelse på 13 kWh/(m² år). Den relativa medelbesparingen 13 % med 5 % standardavvikelse.

4.4 Byte från traditionell styrning till Kabona

Fastighets AB Drömstan förvaltar ett bostadsområde kallat Drömstan som består av 598 hyreslägenheter i Lidköping, översiktsplan visas i figur 15. Fastigheterna byggdes 1967 och Kabonas system installerades november 2010.

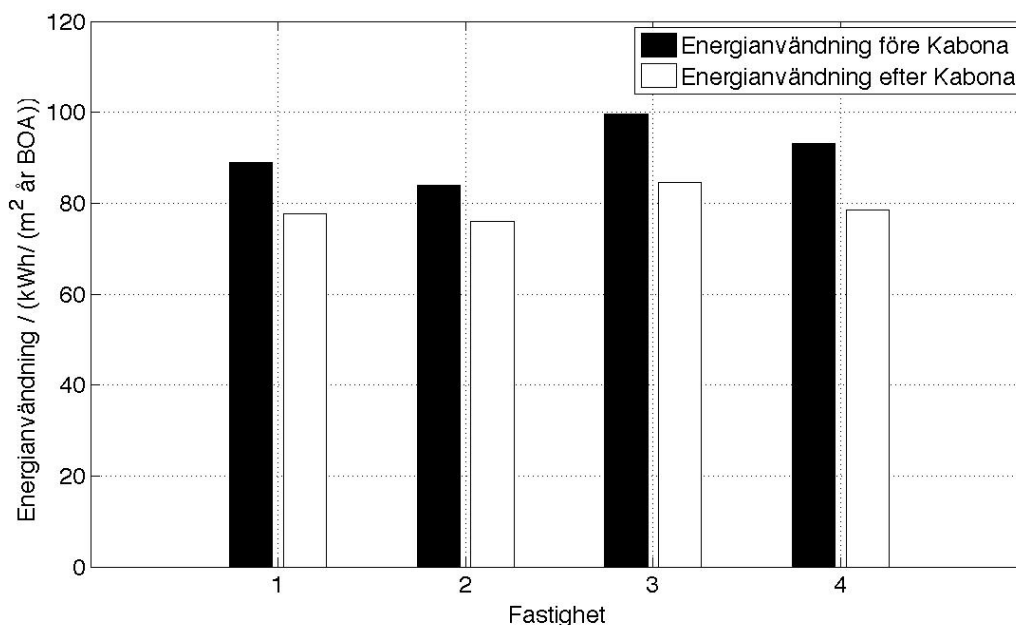


Figur 15 Översiktsplan Drömstan, Lidköping.

Fastigheterna är uppdelade på fyra undercentraler. Husarean för de olika undercentralerna är 7 995, 12 357, 11 889 och 11 109 m².

4.4.1 Resultat

Drömstan valdes ut som referensprojekt av Kabona och uppvärmning sker med fjärrvärme och radiatorsystem, ventilation sker med självdrag. Eftersom det är mindre än ett år sedan Kabonas system installerades har energianvändningen för uppvärmning före installation medelvärdesbildats från januari till och med juni för 2009 och 2010. Energinvändningen efter installation är endast medelvärdet från de första sex månaderna under 2011. Energinvändningen är normalårskorrigerad med graddagsmetoden. Inga energibesparande åtgärder ska ha gjorts utöver installation av Kabonas styrning. Alla areamått i detta delkapitel är boarea, *BOA*. Figur 16 visar energianvändning för uppvärmning innan och efter installation av Kabonas system.



Figur 16 Normalårskorrigerad energianvändning för uppvärmning innan och efter installation av Kabonas system, Drömstan.

Varje fastighet visar en minskning av energianvändning för uppvärmning. Tabell 12 visar energianvändning och besparing för de olika fastigheterna.

Tabell 12 Normalårskorrigerad driftstatistik Drömstan.

Fastighet	Energianvändning innan installation/ (kWh/(m ² år))	Energianvändning efter installation/ (kWh/(m ² år))	Besparing/ (kWh/(m ² år))	Besparing/ %
1	89	78	11	13
2	84	76	8	9
3	100	85	15	15
4	93	78	15	16

Innan Kabonas installation var medelenergianvändningen för uppvärmning 92 kWh/(m² år) BOA. Medelbesparingen är 12 kWh/(m² år) med en standardavvikelse på 3 kWh/(m² år). Den relativa medelbesparingen är 13 % med 3 % standardavvikelse.

4.5 Byte från traditionell styrning till NordIQ

Gävles kommunala fastighetsbolag Gavlegårdarna har installerat NordIQs fjärrvärmecentral i en byggnad under april 2003, centralen var från deras första generation. Fastigheten har undersökts tidigare mellan 2001-2004 och resultatet från den mätningen finns att läsa i Andersson & Werner (2005). Byggnaden visas i figur 17.



Figur 17 Gavlegårdarna (Andersson & Werner, 2005).

Fastigheten består av 47 lägenheter med en uppvärmd area på 4 206 m².

4.5.1 Resultat

NordIQ valde ut en annan byggnad i Gävle, men det var problematiskt att finna driftdata vilket resulterade i att författarna valde denna för utvärdering istället. Byggnaden värms med fjärrvärme och radiatorsystem och ventileras genom självdrag. Den normalårskorrigerade energianvändningen för uppvärmning inklusive tappvattenuppvärmning visas i tabell 13. Inga energibesparande åtgärder ska ha gjorts utöver installation av NordIQs fjärrvärmecentral. Driftdata är normalårskorrigerad med graddagsmetoden. Alla areamått i detta delkapitel är uppvärmd area, A_{temp} .

Tabell 13 Normalårskorrigerad driftstatistik Gavlegårdarna.

Årtal	Specifik energianvändning/ (kWh/m ²)
2001	163,5
2002	164,2
2003	162,6
2004	139,8
2005	155,4
2006	160,3
2007	157,8
2008	160,1
2009	162,9
2010	164,4

Eftersom värmeväxlaren byttes ut under 2003 används inte detta år. Under 2004 var det väldigt mycket klagomål på undertemperaturer i byggnaden och därför används inte detta år heller. Medelvärdet på energianvändningen för uppvärmning och tappvattenuppvärmning för 2001-2002 är 163,9 kWh/(m² år) A_{temp} medan medelvärdet på energianvändningen efter installation av NordIQs värmeväxlare är 160,2 kWh/m². Medelbesparingen är endast 3,7 kWh/(m² år) och vissa år är energianvändningen marginellt högre än innan installation, procentuellt är medelbesparingen 2 %.

4.6 TermoDeck

Vara Bostäder AB är Vara kommuns fastighetsbolag och förvaltar cirka 500 lägenheter. Under våren 2010 färdigställdes ett passivhus om fyra våningar och 16 lägenheter och under våren 2011 färdigställdes ytterligare en identisk byggnad. Byggnaden visas i figur 18. Byggnaderna består av sandwichelement tillsammans med TermoDecks håldäckslösning. Värmebehovet täcks till 95 % med bergvärmepump, det sista behovet täcks med elvärme. Tappvattenuppvärmningen täcks till 50 % med solvärme (Strängbetong, 2011).

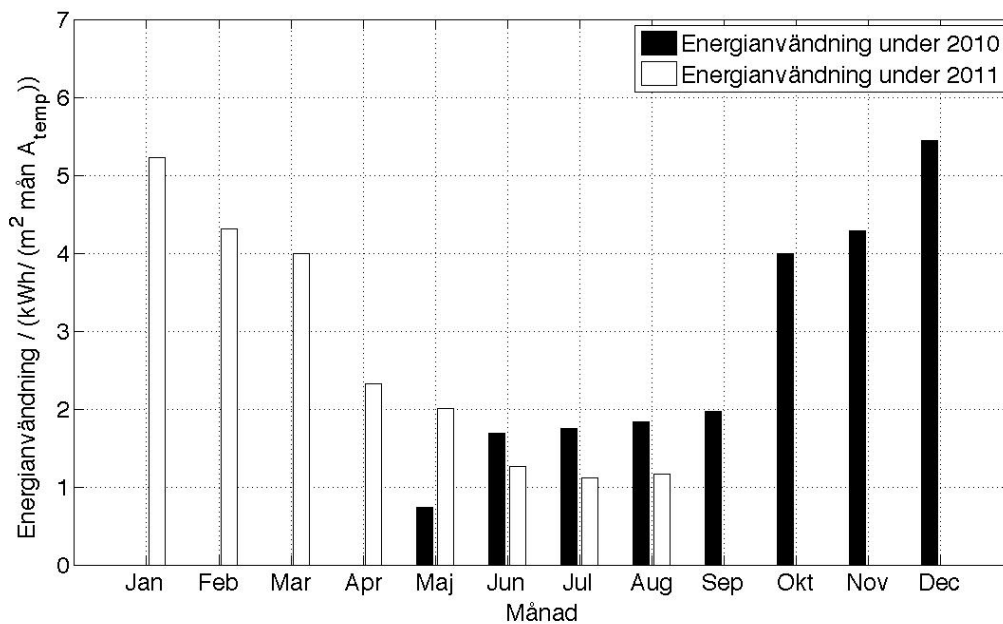


Figur 18 Lärkträdet, Vara (Strängbetong, 2011).

Tidskonstanten är 350 timmar och passivhusstandarden har medfört att DUT har höjts från -18°C till -10°C . Uteluften som tas in i TermoDecks bjälklag kan vara 49°C , tilluften blir då $24\text{-}25^{\circ}\text{C}$ efter värmeväxling i bjälklaget. Bjälklaget arbetar även med att kyla byggnaden nattetid genom att cirkulera sval nattluft så länge den är varmare än 13°C (Strängbetong, 2011).

4.6.1 Resultat

Byggnadens A_{temp} är $1\,230\text{ m}^2$. Inflyttning skedde under maj 2010 och driftdata finns från inflyttningsmånaden till och med augusti 2011. Energianvändningen för uppvärmning och tappvattenuppvärmning visas i figur 19, energianvändningen är inte normalårskorrigerad.



Figur 19 Köpt energi för uppvärmning och tappvattenuppvärmning under 2010-2011 Lärkträdet, Vara.

Driftdata utvärderas inte eftersom mätperioden är för kort, driftdata är ej klimatkorrigerad och byggnaden är nyuppförd.

5 Analys

I följande kapitel utvärderas resultatet från objektstudierna. Följande punkter bör finnas i åtanke då dessa kan påverka resultatet.

- Utvärderingstiden skiljer sig åt mellan de olika projekten och även tiden efter installation.
- Det är lättare att göra stora energibesparingar på uppvärmningsbehovet i de kallare klimatzonerna eftersom uppvärmningssäsongen är längre.
- Boarean är normalt mindre än den uppvärmda arean vilket leder till att energibesparingen verkar större per kvadratmeter om den divideras med BOA än med A_{temp} .
- Det är lättare att åstadkomma stora absoluta energibesparingar i byggnader som från början är väldigt energislösande än i byggnader som har lågt energibehov.
- Det har inte gjorts några djupgående undersökningar om fler energibesparande åtgärder har genomförts efter installation av företagets system.
- Upplevelsen av inneklimatet efter att de olika projekten genomförts har inte heller utvärderats.
- Metodval av normalårskorrigeringsfaktor är ytterligare en felkälla eftersom de inte alltid ger samma resultat.

5.1 eGain

Enligt studien är medelbesparingen med eGains prognosstyrning $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$ BOA, med en standardavvikelse på $11 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Lägsta värde är $0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$ och högsta värde $39 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Intervallet får anses vara stort. Ystadbostädernas medelenergianvändning innan eGain var $131 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Den relativa besparingen är 11 % med en standardavvikelse på 8 %. Lägsta värde är 0 % och högsta är 26 %. Enligt eGains marknadsföring sänker deras system energianvändningen för uppvärmning med 10-15 %. Medelbesparingen i Ystad ligger lågt inom det angivna intervallet. Den absoluta besparingen är dock större än eGains egna uppmätta medelbesparing i 2 000 byggnader som är $12 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$.

Det är osäkert om fastigheter har injusterats i samband med installation av prognosstyrningen. Statistiken har normalårskorrigerats med energi-index, detta kan påverka resultatet i båda riktningar. Ystad är en stad med låg bebyggelse vilket gör att ett högt hus som påverkas mycket av vind kommer verka ha en högre energianvändning än typbyggnaden borde ha enligt index.

5.2 Byte från eGain till EnReduce Energy Systems

Enligt studien sänks medelenergianvändningen med $7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år}) A_{\text{temp}}$ med en standardavvikelse på $6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Den lägsta besparingen är $3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$ och den högsta är $21 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Intervallet är relativt stort. Medelenergianvändningen för uppvärmning innan installation var $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Den relativa besparingen är 6 % med en standardavvikelse på 5 %. Lägsta värde är 2 % och högsta är 16 %.

Energianvändningen innan eGain installerades finns tyvärr inte att tillgå, men det är en tydlig nedgång i energianvändningen för uppvärmning efter att eGains prognosstyrning byttes ut mot EnReduce styrning.

5.3 EnReduce Energy Systems

Medelbesparingen i studien är $22 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år}) \text{ BOA}$ med en standardavvikelse på $13 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Det lägsta värdet är $11 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$ och högsta är $42 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$, vilket är en ganska stor spridning med en hög lägsta nivå. Enligt EnReduce gäller det lägsta värdet en central som inte ännu var intrimmad vilket kan ge högre värde. Innan installation var medelenergianvändningen för uppvärmning $163 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Den relativa medelbesparingen är 13 % med en standardavvikelse på 5 %. Det lägsta värdet är 7 % och det högsta är 20 %. Enligt EnReduces marknadsföring sänker deras system energianvändningen för uppvärmning med 15-25 %, medelbesparingen i Uppsala når inte upp till det angivna intervallet.

5.4 Kabona

Kabonas medelbesparing är enligt studien $12 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år}) \text{ BOA}$ med en standardavvikelse på $3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Det lägsta värdet är $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$ och det högsta är $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Spridningen är ganska låg. Innan Kabonas installation var medelenergianvändningen för uppvärmning $92 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Den relativa medelbesparingen är 13 % med en standardavvikelse på 3 %. Det lägsta värdet är 9 %

och högsta är 16 %. Medelbesparingen för flerbostadshus med frånluftsventilation ska enligt Kabona bli cirka 15 %, vilket är nära den uppmätta besparingen i Lidköping.

Kabonas projekt har endast utvärderats under de första sex månaderna och deras arbetssätt med injustering över tiden gör det troligt att systemet inte nått full potential ännu. Dessutom utvärderas Kabona inte i full kapacitet då deras system även kan användas för ventilationsstyrning.

5.5 NordIQ

Enligt studien är medelbesparingen 3,7 kWh/(m² år) A_{temp} och vissa år är energianvändningen högre än innan installation, procentuellt är besparingen 2 %. Medelenergianvändningen innan NordIQs värmeväxlare installerades var 163,9 kWh/(m² år). Enligt marknadsföringen ska energianvändningen för uppvärmning sänkas med 10-25 %.

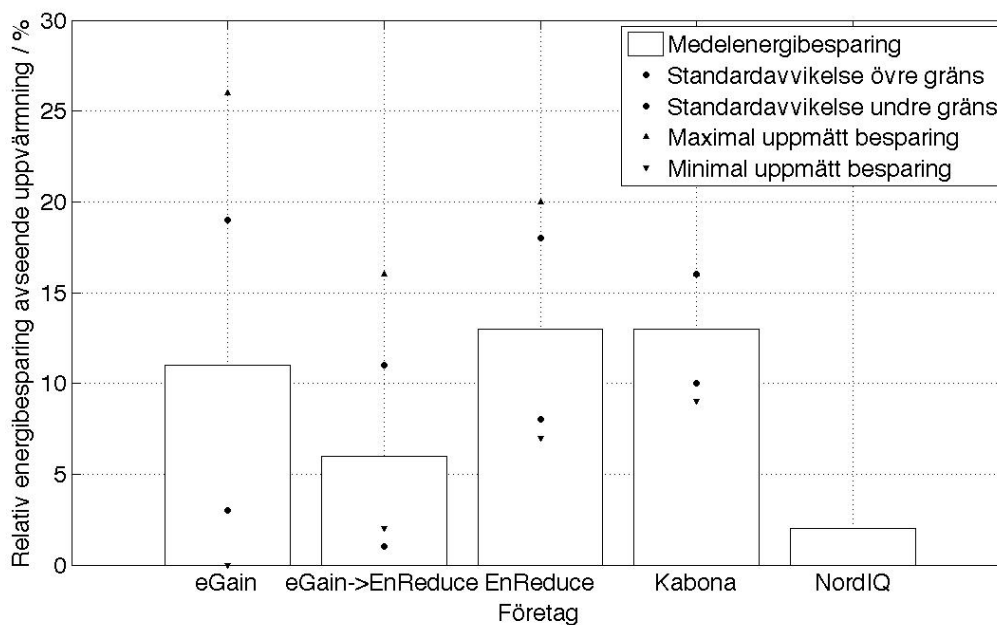
Den studie som tidigare genomförts av byggnaden visade en sänkning av köpt energi på 13 %. Under den studien användes stora delar av 2004 som mätperiod. Detta år används inte i denna studie då Gavlegårdarna uppger att det klagades väldigt mycket på att det var för kallt under det året. Värmeväxlaren är från NordIQs första generation. Det är endast en värmeväxlare som utvärderas från NordIQ vilket inte ger en statistiskt tydlig bild av nyttan.

5.6 TermoDeck

Passivhusprojektet i Vara analyseras inte då det saknas underlag för utfallet utan TermoDecks system. Trots att byggnaden till stor del är prefabricerad har byggfuktsuttorkningen förmodligen fortfarande en inverkan på energianvändningen för uppvärmning, efterhand bör uttorkningen leda till en successiv sänkning av energibehovet. Detta bör beaktas vid en eventuell utvärdering.

5.7 Sammanställning

I figur 20 visas en sammanställning av de olika systemens relativa besparing, standardavvikelse samt lägsta och högsta besparing med avseende på energianvändning för uppvärmning. TermoDeck ingår inte eftersom att de inte har utvärderats.



Figur 20 Sammanställning av relativ energibesparing.

6 Diskussion och slutsatser

Alla system har gemensamt att de sänker byggnadens balanstemperatur genom att de förskjuter starten och stoppet av värmeförseln jämfört med traditionell styr- och reglerteknik. Med prognosstyrning försöker man förutse värmelagrets påfyllningsbehov medan innegivarsystemen reagerar på lagrets urladdning. De tre system som använder sig av innetemperaturgivare kan beakta enskilda tillfällen då de interna värmelasterna är extrema. De två övriga systemen, eGain och NordIQ använder sig endast av normallaster. Det kan dock diskuteras hur mycket värmelagret i ett tungt hus påverkas av tillfälliga interna laster. Detta visar sig tydligt i att de undersökta systemen skiftar avsevärt i noggrannhet. TermoDeck mäter verksamhetszonens frånluftsmedeltemperatur medan Kabona i sin tur mäter verksamhetszonens frånluftstemperatur på flera platser och NordIQ återkopplar med hjälp av effektuttaget över värmekretsen. EnReduce använder sig av givare med en känslighet på hundradels grader och styr enbart efter innetemperaturen vilket kan tänkas ge en jämnare temperatur inomhus än övriga system med innegivare. Antal givare och placering kan dock medföra att temperaturvariationer förekommer i delar av temperaturzonerna. Svårigheten med innetemperaturstyrning är att finna rätt placering och antal temperaturgivare. Styrssystem styr dessutom normalt bara en framledningstemperatur för hela byggnaden oavsett om det finns många olika termiska zoner. Frågan blir vilken noggrannhet är det egentligen som behövs för att få ett komfortabelt inneklimat och om temperaturen ska hållas konstant eller tillåtas variera? För att utnyttja värmelagringsförmågan i stor utsträckning så att ett värmeutbyte mellan luft och stomme uppstår måste innetemperaturen tillåtas att variera.

eGain utnyttjar byggnadens värmetröghet genom att försöka förbereda byggnaden för kommande effektbehov genom prognosstyrning. Systemet kan liknas med bilkörningens eco-driving, en bilförare kan oftast se ett stoppljus i god tid och anpassa hastigheten till förväntad signal. Prognosstyrning blir mer komplext eftersom det är väldigt mycket information som ska beaktas och parametrarnas tillförlitlighet skiftar. En bil reagerar dessutom snabbt på förarens åtgärder medan en byggnad reagerar trögare, detta kan vara både positivt och negativt. Om prognosmodellen stämmer dåligt överens med

verkligheten är en tung byggnad ganska förlåtande genom att den stora termiska massan sväljer överskottsvärme eller motverkar underskottet. Det negativa är att den termiska massan också motverkar en temperaturuppgång om värmelagret urladdas helt och hållet. Om värmelagret i sin tur fylls till max kommer brukare att ventilerar bort överskottsvärmen. Det är intressant att systemet återgår till att styra med utetemperatur om kvaliteten på prognosen anses för låg. Detta medför att fastighetsägaren riskerar att abonnera på en tjänst som inte utnyttjas, hur ofta detta sker har dock inte analyserats.

EnReduce utnyttjar byggnadens värmetröghet genom att låta inneklimatet styra värmeförseln. Värme ska endast tillföras när det finns ett verkligt behov av att fylla på byggnadens värmelager. Eftersom givarna endast sitter i utvalda lägenheter kan extrema brukarvanor få genomslag i systemet, detta förlänger intrimningsperioden genom att givare får omplaceras till en lägenhet med normala brukarvanor.

Kabona använder sig av både prognosstyrning och innetemperaturgivare för att utnyttja byggnadens värmetröghet. Baserat på skillnaderna på resultatet från eGains prognosstyrning och EnReduces innegivare dyker några frågor om Kabonas system upp. Vilken del av Kabonas system är det som sparar mest energi? Hade systemet gynnats av att använda endast prognosstyrning eller innegivare eller är det så att energibesparingen ökar av att båda används tillsammans?

NordIQ utnyttjar byggnadens värmetröghet genom användandet av byggnadens tidskonstant. Effektsignaturen styr värmeförseln och tidskonstanten styr fördröjningen. NordIQ har stora dolda nyttor för fjärrvärmelieferantörer men detta kommer inte till nytta för kunden om debiteringssystemet inte ändras för att gynna ett jämnare effektuttag.

TermoDeck utnyttjar byggnadens värmelagringsförmåga genom att låta ventilationsluften värmeväxla med håldäckselementen och låta inneklimatet styra värmeförseln. Dessutom bygger de så pass tunga och täta hus att byggnadens inre delar sällan påverkas av uteklimatet.

Styrsignalen i traditionella system försöker korrigera avvikelser från den önskade temperaturen. Detta medför att temperaturen inte behöver bli den önskade på grund av att randvillkoren inte är konstanta. Alla system påstås ge ett inneklimat med mindre temperatursvängningar genom utnyttjandet av byggnadens värmetröghet vilket leder till att temperaturen skulle kunna sänkas eftersom att en mindre säkerhetsmarginal behövs mot det lägsta tillåtna börvärdet.

Företagens marknadsföring förefaller optimistisk i jämförelse med objektstudierna på deras referensprojekt. Trots att företagen inte lever upp till sin egen marknadsföring visar flera en tydlig nedgång i energianvändningen för uppvärmning jämfört med traditionell styr- och reglerteknik. De är definitivt intressanta att använda vare sig det gäller nyproduktion eller ombyggnad. Alla system gynnas av både byggnadens värmetröghet och värmelagringsförmåga och de kan vara mycket intressanta som åtgärder för renoveringsarbetet av miljonprogramsbeståndet. Dessa byggnader har ofta dålig värmetröghet men hög värmelagringsförmåga, dock är första renoveringsåtgärden ofta en tätning av klimatskalet vilket ger förhöjd värmetröghet. Desto större interna värmelaster som finns desto mer kan man utnyttja byggnadens värmetröghet för att minska energibehovet för uppvärmning. Detta medför att besparingspotentialen som är stor för flerbostadshus är ännu större för kontorslokaler.

Objektstudierna visar tydligt att värmetrögheten har betydelse för energianvändningen och man kan även anta att detta får stort genomslag i effektuttaget genom sänkt framledningstemperatur. Värmetrögheten bör därför beaktas i projekteringsprocessen i större utsträckning än till att endast välja DVUT. Det finns stor nytta i att minska effektuttaget, speciellt under dygnets drifttoppar då den energi som köps ofta kommer från spetskällor med stor negativ miljöpåverkan eller från högvärdig energi.

6.1 Rekommendationer för fortsatta studier

Kabona använder sig av prognosstyrning tillsammans med innetemperaturgivare. Vilken av dessa komponenter står för den större energibesparingen? Blir besparingen större av att de arbetar tillsammans?

Effektsignaturen för en byggnad som styrs efter utetemperatur blir linjär. Detta bör inte bli fallet när byggnadens värmetröghet beaktas. Hur ser effektsignaturen ut efter installation av de olika företagens system?

Hur upplever brukarna att inneklimatet förändras genom utnyttjande av byggnadens värmetröghet och värmelagringsförmåga? Blir inneklimatet jämnare och kan innetemperaturen sänkas?

Källförteckning

Abel E. & Elmroth A., 2006. *Byggnaden som system*. Andra reviderade upplagan (2008) Forskningsrådet Formas.

Adl-Zarrabi B., Engström A. & Roots P., 2011. *Reduction of energy consumption and peak cooling loads by using thermo active building systems*. The International Conference on Sustainable Systems and the Environment. Sharjah, Förenade Arabemiraten.

Andersson S. & Werner S., 2005. *FoU 2005:125 Utvärdering av funktionsintegrerad fjärrvärmecentral*. Hämtad från <<http://www.svenskfjarrvarme.se/>> 2011-08-05.

Anderstam O., 2011. *EnReduce anpassar värme efter verkligt behov*. VVS-Forum 6-7/2011.

Blekastad L., 2011. Intervju 2011-09-21 med Lars Blekastad, EnReduce.

Carlberg S., 2011. Intervju 2011-07-11 med Sebastian Carlberg, Kabona.

Claesson J., Nevander L-E. & Sandin K., 1984. *Utdrag ur värme – Kompendium i byggnadsfysik*. Institutionen för byggnadsfysik, Lunds tekniska högskola.

Ed. Gogus Y. A., 2006. *Energy storage systems*. Oxford, England. EOLSS Publishers.

eGain, 2011. *Prognosstyrning – Bakgrund till framtidens styrning av husets värmesystem*. Hämtad från <<http://www.egain.se/>> 2011-06-13.

Energilotsen, 2011. *Handledning för byggnadskonstruktörens energi- och inneklimatanalyser*. Hämtad från <<http://www.energilotsen.nu/>> 2011-06-15.

Engström A., 2011. Intervju 2011-09-01 med Alexander Engström, TermoDeck.

EnReduce, 2011. *Forskning som fick stora energipriset*. Hämtad från <<http://www.enreduce.se/>> 2011-06-13.

FEBY, 2009. *Kravspecifikation för passivhus*. Hämtad från <<http://www.energieffektivbyggnader.se/>> 2011-10-27.

Forslund J., 2010. *Bästa inneklimat till lägsta energikostnad*. Svensk Byggtjänst.

Geiser T., 2011. Intervju 2011-07-07 med Thorbjörn Geiser, eGain.

Gumméus P., 2011. E-postutbyte 2011-08-05 med Peter Gumméus, NordIQ.

Harrysson C., 2004. *Byggnadsutformning och värmekapacitet*. Bygg och teknik 5/04.

Isfält E. & Bröms G., 1992. *Effekt- och energibesparing genom förenklad styrning och drift av installationssystem i byggnader*. Institutionen för installationsteknik, Kungliga tekniska högskolan.

Jensen L., 2011. *Injustering*. Kurslitteratur i kursen *VBFN10 Projektering avseende energi, luft och fukt i nya byggnader*. VT11, Lunds tekniska högskola.

Jönsson G., 2003. *Fysik i vätskor och gaser*. Upplaga 6 (2006) Lund, Sverige. Teach Support.

Kabona, 2011a. *Referenser*. Hämtad från <<http://www.kabona.se/>> 2011-06-14.

Kabona, 2011b. *Ecopilot*. Hämtad från <<http://www.kabona.se/>> 2011-06-14.

Karlsson J., 2010. *Betydelsen av värmetröga konstruktioner*. Bygg och teknik 5/10.

Lidström S., 2009. *Effektiv fjärrvärme med byggnaden som värmelager*. Cementa nr. 1 2009.

Lindström L., 2011. Intervju 2011-09-21 med Lars Lindström, EnReduce.

Miljömålsportalen, 2011a. *God bebyggd miljö*. Hämtad från <<http://www.miljomal.se/>> 2011-06-08.

Miljömålsportalen, 2011b. *Energianvändning m.m. i byggnader*. Hämtad från <<http://www.miljomal.se/>> 2011-06-08.

NordIQ, 2011. *Smarta fjärrvärmecentraler spar energi, pengar och miljö*. Hämtad från <<http://www.nordiq.se/>> 2011-06-15.

Olsson Ingvarsson L.C. & Werner S. 2008., *Building mass used as short term heat storage*. Elfte internationella symposiet om fjärrvärme och kyla. Reykjavik, Island.

Rönneblad A., 2011. E-postutbyte 2011-10-14 med Anders Rönneblad, Cementa.

Schulz L., 2003. *Normalårskorrigerering av energianvändningen i byggnader – en jämförelse av två metoder*. Hämtad från <<http://www.effektiv.org/>> 2011-07-12.

SMHI, 2011a. *Klimatsmart fastighetsstyrning*. Hämtad från <<http://www.smhi.se/>> 2011-07-12.

SMHI, 2011b. *Energi-index*. Hämtad från <<http://www.smhi.se/>> 2011-07-21.

SMHI, 2011c. *Normalårskorrigerering*. Hämtad från <<http://www.smhi.se/>> 2011-08-01.

Statens energimyndighet, 2010. *ET 2010:45 Energiläget 2010*. Hämtad från <<http://www.energimyndigheten.se/>> 2011-06-08.

Statens energimyndighet, 2011. *ES 2011:04 Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler 2009*. Hämtad från <<http://www.energimyndigheten.se/>> 2011-06-08.

Strängbetong, 2011. *Passivhuset Lärkträdet i Vara*. Hämtad från <<http://www.strangbetong.se/>> 2011-09-07.

TermoDeck, 2011a. *About us*. Hämtad från <<http://www.termodeck.com/>> 2011-06-16.

TermoDeck, 2011b. *Home*. Hämtad från <<http://www.termodeck.com/>> 2011-06-16.

TermoDeck, 2011c. *FAQ*. Hämtad från <<http://www.termodeck.com/>> 2011-06-16.

Värmex, 2011. *Därför ska man injustera ett värmesystem*. Hämtad från <<http://www.varmex-energieffektivisering.se/>> 2011-08-29.

Warfvinge C., 2001. *Installationsteknik AK för V*. Upplaga 3:1 (2007) Lund, Sverige. Studentlitteratur.

Warfvinge C. & Dahlblom M., 2010. *Projektering av VVS-installationer*. Lund, Sverige. Studentlitteratur.

Wisell L., Ylmén P., Warfvinge C. & Kurkinen E-L., 2011. *Energieffektivisering av flerbostadshus – Status och hänsyn till värmetröghet*. Sveriges tekniska forskningsinstitut & Bengt Dahlgren AB.



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

ISRN LUTVDG/TVIT--11/5030--SE(68)